

МИНЕРАЛЫ Y-Ln В КОЛЧЕДАННЫХ РУДАХ ПРОЯВЛЕНИЯ БРАГИНО, ЮЖНАЯ ПЕЧЕНГА, КОЛЬСКИЙ РЕГИОН

Компанченко А.А., Волошин А.В., Базай А.В.

Геологический институт КНЦ РАН, Анапты, komp-alena@yandex.ru

Южно-Печенгская структурная зона (ЮПСЗ) является частью нижнепротерозойской рифтогенной структуры Печенга-Имандра-Варзуга, в северо-западной части Кольского региона. Колчеданные руды развиты на участке Брагино, который расположен в осевой части на юго-восточном блоке ЮПСЗ. Центральная его часть представлена метапикробазальтами меннельской толщи. На северном и южном флангах участка развиты вулканогенно-осадочные образования брагинской свиты. В вулканитах, преимущественно за пределами участка, закартированы малые тела диоритов, гранит-порфиров, лампрофиров, сиенитов комплексов брагинских малых тел. По вулканогенно-осадочным толщам широко развиты метасоматические образования – кварциты, березиты, листовиты, основные метасоматиты, альбититы [1].

Массивные руды, наиболее распространенные на участке, разделены на три типа в зависимости от содержания сульфидов и вещественного состава. Массивные пирротиновые руды I типа выделены в центральной части рудного тела, состоят на 90-95 % из сульфидов, 90 % из которых приходится на пирротин, остальные – марказит и пирит, халькопирит, молибденит, отсутствует сфалерит. Массивные пирротиновые руды II типа – наиболее распространены на всем участке. Они состоят на 80-85 % из сульфидов, из которых 60 % приходится на пирротин, по 15 % на халькопирит и сфалерит, остальные - марказит, пирит, молибденит, галенит и др. В пирротиновых рудах II типа обнаружены «гнезда», размером 1×1 м, на 85 % сложенные крупнокристаллическим пиритом с нерудными минералами в интерстициях – третий тип руд – массивные пиритовые. Границы перехода от пирротиновых руд II типа к пиритовым рудам резкие.

В колчеданных рудах участка Брагино, в пирротиновых рудах II типа и пиритовых рудах, были обнаружены реликты некоей гидротермальной системы. Она представляет собой будинированные жилки кварц-альбитового состава, в которых локализуются многочисленные представители Cr-Sc-V минерализации (тиванит, ноланит, кульсонит, мусковит-роскоэлит, тортвейтит и др.).

Изучение минералов колчеданных руд проводилось на оптическом микроскопе AxioPlan в отраженном поляризованном свете с блоком видеорегистрации. Исследование морфологии, фазовой и внутрифазовой неоднородности минералов проводилось при помощи сканирующего электронного микроскопа (СЭМ) LEO-1450 с оценкой состава минеральных фаз посредством энергодисперсионного спектрометра (ЭДС) Вкукер XFlash 5010 (ГИ КНЦ РАН). Так же исследования химического состава и неоднородности проводились на СЭМ Hitachi S-3400N с ЭДС Oxford X-Max 20 (ресурсный центр (РЦ) СПбГУ «Геомодель», Санкт-Петербург). Химический анализ однородных зёрен минералов размером более 20 мкм выполнен на электронно-зондовом микроанализаторе Cameca MS-46 в Геологическом институте КНЦ РАН.

Среди минералов Y-Ln ассоциации выявлены представители разных классов: оксиды, фосфаты и силикаты.

Оксиды Y-Ln

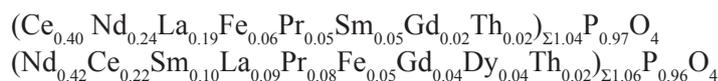
Среди минералов группы кричтонита в колчеданных рудах Брагино установлены *давидит-(La)* $La(Y,U)Fe_2(Ti,Fe,Cr,V)_{18}(O,OH,F)_{38}$ и *давидит-(Ce)* $Ce(Y,U)Fe_2(Ti,Fe,Cr,V)_{18}(O,OH,F)_{38}$ [3]. Эти минералы крайне редко образуют индивидуализированные зерна, чаще они находятся в сростании с кричтонитом и сенаитом, иногда в виде мелких выделений сложной конфигурации в кричтонитовом агрегате. Доминирующим катионом обычно выступает La, реже – Ce, следовательно, *давидит-(La)* более распространен.

Фосфаты Y-Ln

Ксенотим-(Y), $Y(PO_4)$ встречается в виде ксеноморфных выделений, корродированных кристаллов и насыщенных включениями агрегатов (рис. 1 а, б) в разных типах руд. Ксенотим обладает не только фазовой, но и внутрифазовой неоднородностью, обусловленной неравномерным распределением других редкоземельных элементов. На BSE-снимках светлые участки в кристаллах соответствуют зонам с повышенным содержанием Gd, Dy, Er, Yb, Sm (в сумме до 24 мас. %) и соответствуют формуле $(Y_{0.75}Gd_{0.08}Dy_{0.08}Er_{0.04}Sm_{0.03}Yb_{0.03})\Sigma_{1.01}(PO_4)$. Более темные участки характеризуются меньшим содержанием этих элементов и отвечают формуле $(Y_{0.81}Gd_{0.07}Dy_{0.07}Er_{0.03}Yb_{0.02}Sm_{0.01})\Sigma_{1.01}(PO_4)$.

Наиболее распространенными представителями данного класса являются минералы группы монацита, а именно монацит-(Ce) $Ce(PO_4)$ и монацит-(Nd) $Nd(PO_4)$. Они встречаются во всех типах руд, в разных ассоциациях. Одной из наиболее часто встречаемых является ассоциация монацита с ванадийсодержащим мусковитом в альбите, в реликтах кварц-альбитовых жил (рис. 1 в, г; рис. 2 а-г). Могут присутствовать сидерит, шамозит, минералы группы эпидота, кричтонита, Ti-V оксиды, тортвейтит.

В химическом составе обычно доминирующим катионом является Ce или Nd, La на третьем месте, что хорошо отражает тройная диаграмма видового разнообразия минералов группы монацита и эволюции их состава (рис. 1 д). Часто встречаются индивиды, в которых содержания этих элементов практически равны. Постоянно в качестве примеси, кроме других REE (Sm, Pr, Gd), присутствуют железо (до 2 мас. % Fe_2O_3) и торий (до 3 мас. % ThO_2). В целом, формулы монацита-(Ce) и монацита-(Nd) соответственно выглядят следующим образом:



Монациты не проявляют заметную фазовую или внутрифазовую неоднородность. Монацит в ассоциации с другими Y-REE минералами довольно часто встречается в колчеданных рудах Кольского региона, в том числе в Панареченской структуре [2].

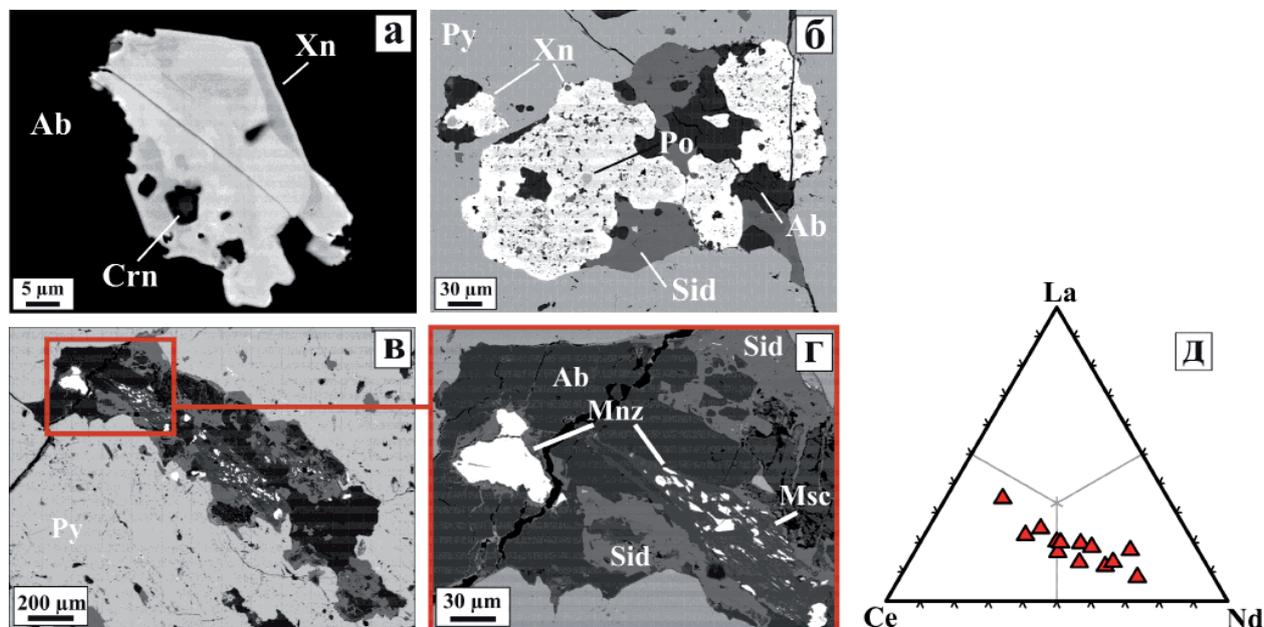


Рис. 1. Морфология и ассоциация фосфатов REE в колчеданных рудах Брагино.

а – фазовая и внутрифазовая неоднородность в ксенотиме (Xn); б – пойкилитовый агрегат ксенотима с многочисленными включениями сульфидов и нерудных минералов; в, г – ванадийсодержащий мусковит (Msc), насыщенный мелкими включениями монацита (Mnz) и более крупное отдельное выделение монацита. BSE снимки. д – тройная диаграмма видового разнообразия минералов группы монацита. Py – пирит; Po – пирротин; Crn – минерал группы кричтонита; Sid – сидерит; Ab – альбит.

Силикаты Y-Ln

В колчеданных рудах участка Брагино, в пиритовых рудах внутри кристаллов пирита установлены обособления, содержащие в себе ассоциацию ванадийсодержащих силикатов: алланита, мусковита и хлорита, а также монацита-(Nd) и монацита-(Ce) (рис. 2 а-г).

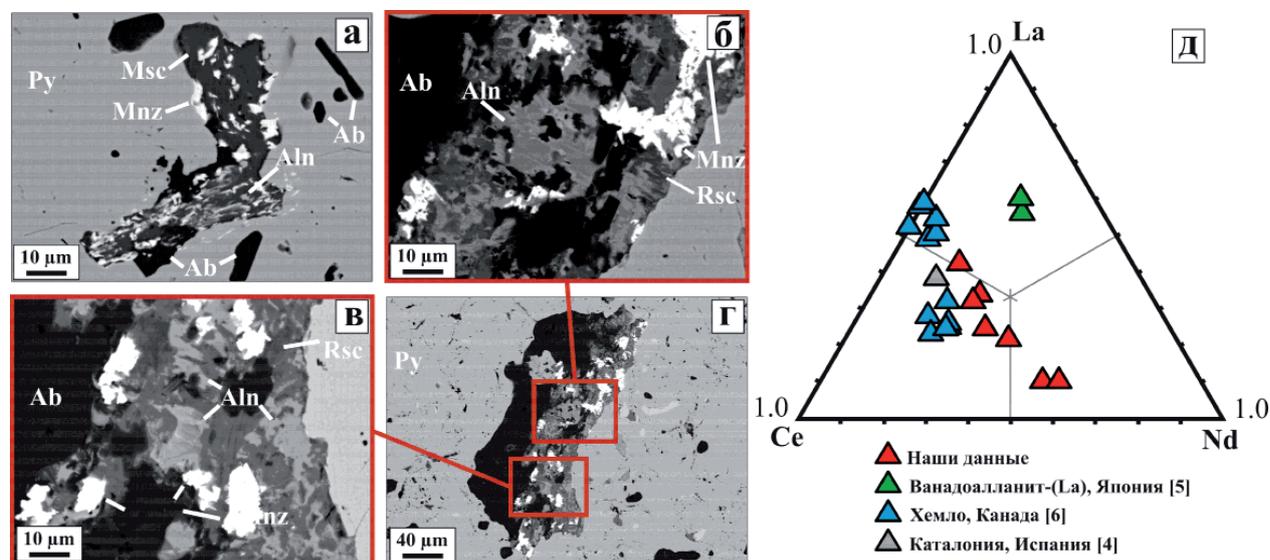


Рис. 2. а-г – ванадийсодержащие REE-минералы группы эпидота (подгруппы алланита, Aln) в колчеданных рудах участка Брагино в ассоциации с ванадийсодержащим мусковитом (Msc), роскоэлитом (Rsc), монацитом (Mnz) и альбитом (Ab) в пиритовых рудах (Py); BSE снимки; д – тройная диаграмма видового разнообразия минералов подгруппы алланита из разных месторождений.

Таблица. Распределение катионов в минералах подгруппы алланита из колчеданного проявления Брагино.

	A2	M1	M2	M3
1	$(\text{Ce}_{0.23}\text{La}_{0.19}\text{Nd}_{0.15})_{\Sigma 0.57}$	$(\text{V}_{0.67}\text{Al}_{0.31}\text{Cr}_{0.02})_{\Sigma 1.00}$	$\text{Al}_{1.00}$	$(\text{Fe}_{0.38}\text{Al}_{0.24}\text{Mg}_{0.14})_{\Sigma 0.76}$
2	$(\text{Nd}_{0.31}\text{Ce}_{0.19}\text{La}_{0.06}\text{Sm}_{0.09})_{\Sigma 0.65}$	$(\text{V}_{1.00}\text{Cr}_{0.14}\text{Sc}_{0.02})_{\Sigma 1.16}$	$\text{Al}_{1.00}$	$(\text{Fe}_{0.66}\text{Al}_{0.27}\text{Mg}_{0.08})_{\Sigma 1.01}$
3	$(\text{Nd}_{0.33}\text{Ce}_{0.23}\text{Sm}_{0.08}\text{La}_{0.07}\text{Pr}_{0.07})_{\Sigma 0.78}$	$(\text{V}_{0.86}\text{Al}_{0.08}\text{Cr}_{0.06})_{\Sigma 1.00}$	$\text{Al}_{1.00}$	$(\text{Fe}_{0.68}\text{Al}_{0.17}\text{Mg}_{0.15})_{\Sigma 1.00}$
4	$(\text{Ce}_{0.35}\text{La}_{0.27}\text{Nd}_{0.21})_{\Sigma 0.83}$	$(\text{V}_{1.01}\text{Cr}_{0.04})_{\Sigma 1.05}$	$\text{Al}_{0.98}$	$\text{Fe}_{1.04}$

Примечание. Жирным выделены доминантные катионы в соответствующей позиции. Распределение произведено в соответствии с предположением, что наши минералы могут быть аналогами ванадоалланита-(La) $(\text{CaLa})(\text{V}^{3+}\text{AlFe}^{2+})(\text{Si}_2\text{O}_7)(\text{SiO}_4)\text{O}(\text{OH})$.

Предполагаемые формулы минералов:

- $\text{Ca}_{1.65}(\text{Ce}_{0.23}\text{La}_{0.19}\text{Nd}_{0.15})_{\Sigma 0.57}(\text{V}_{0.67}\text{Al}_{0.31}\text{Cr}_{0.02})_{\Sigma 1.00}\text{Al}_{1.00}(\text{Fe}_{0.38}\text{Al}_{0.24}\text{Mg}_{0.14})_{\Sigma 0.76}(\text{Si}_2\text{O}_7)(\text{SiO}_4)\text{O}(\text{OH})$
- $(\text{Ca}_{1.08}\text{Mn}_{0.07})_{\Sigma 1.15}(\text{Nd}_{0.31}\text{Ce}_{0.19}\text{La}_{0.06}\text{Sm}_{0.09})_{\Sigma 0.65}(\text{V}_{1.00}\text{Cr}_{0.14}\text{Sc}_{0.02})_{\Sigma 1.16}\text{Al}_{1.00}(\text{Fe}_{0.66}\text{Al}_{0.27}\text{Mg}_{0.08})_{\Sigma 1.01}(\text{Si}_2\text{O}_7)(\text{SiO}_4)\text{O}(\text{OH})$
- $(\text{Ca}_{1.17}\text{Mn}_{0.06})_{\Sigma 1.23}(\text{Nd}_{0.33}\text{Ce}_{0.23}\text{Sm}_{0.08}\text{La}_{0.07}\text{Pr}_{0.07})_{\Sigma 0.78}(\text{V}_{0.86}\text{Al}_{0.08}\text{Cr}_{0.06})_{\Sigma 1.00}\text{Al}_{1.00}(\text{Fe}_{0.68}\text{Al}_{0.17}\text{Mg}_{0.15})_{\Sigma 1.00}(\text{Si}_2\text{O}_7)(\text{SiO}_4)\text{O}(\text{OH})$
- $(\text{Ca}_{1.07}\text{Mn}_{0.03})_{\Sigma 1.10}(\text{Ce}_{0.35}\text{La}_{0.27}\text{Nd}_{0.21})_{\Sigma 0.83}(\text{V}_{1.01}\text{Cr}_{0.04})_{\Sigma 1.05}\text{Al}_{0.98}\text{Fe}_{1.04}(\text{Si}_2\text{O}_7)(\text{SiO}_4)\text{O}(\text{OH})$

Химический состав минералов довольно переменчив. Содержание V_2O_3 колеблется в пределах от 8.58-13.74 мас. %, редко в качестве примеси отмечается скандий. Согласно расчету кристаллохимических формул (табл.), как и в ванадоалланите-(La), V^{3+} в наших минералах может являться доминирующим в позиции M1, Al - в M2, а Fe^{2+} - в M3. Распределение катионов по позициям A2, M1, M2, M3 в формулах минералов дано в табл. Минералы могут быть аналогами ванадоалланита-(La), с доминирующими Ce или Nd в структурной позиции A2 – ванадоалланит-(Ce) и ванадоалланит-(Nd). Как видно из тройной диаграммы распределения катионов в позиции A2 (рис. 2), в химическом составе алланита из Брагино наблюдается тренд от Ce к Nd, тогда как в большинстве других подоб-

ных минералах существенную роль играет La. Подобный тренд находит свое отражение и в химическом составе монацита – доминирующими чаще всего являются Ce или Nd, а La на третьем месте.

В качестве примеси Y и ряд REE (Sm, Nd, Gd, Dy, Er, Yb) установлены так же в *тортвейтмитах* $Sc_2Si_2O_7$. Наибольших концентраций достигают Y (до 6 мас. % Y_2O_3), Yb (до 3.5 мас. % Yb_2O_3), содержания остальных не превышают 1 мас. %.

Присутствие Y-REE минералов и их приуроченность к реликтам кварц-альбитовых жил могут указывать на гидротермальное происхождение подобных образований. Так же прослеживается явная генетическая и пространственная связь данного типа минерализации с Cr-Sc-V типом, ранее установленным в колчеданных рудах Кольского региона [3].

Работа выполнена в рамках Госзадания ГИ КНЦ РАН (тема НИР № 0231-2015-0001) при частичной поддержке программы Президиума РАН № 19.

Литература

1. Ахмедов А.М., Вороняева Л.В., Павлов В.А. и др. Золотоносность Южно-Печенгской структурной зоны (Кольский полуостров): типы проявлений и перспективы выявления промышленных содержаний золота // Региональная геология и металлогения. 2004. № 20. С. 143-165.
2. Волошин А.В., Чернявский А.В., Войтеховский Ю.Л., Савченко Е.Э. Y-REE минералы и минералы группы циркона из рудных зон Панареченской вулканогенно-тектонической структуры // Золото Кольского полуострова и сопредельных регионов. Тр. Всероссийской (с международным участием) научной конф., посвящённой 80-летию Кольского НИЦ РАН. Апатиты. 2010. С. 11-13.
3. Карпов С.М., Волошин А.В., Компанченко А.А., Савченко Е.Э., Базай А.В. Минералы группы кричтонита в колчеданных рудах и рудных метасоматитах протерозойских структур Кольского региона // Записки РМО. 2016. № 5. С. 39-56.
4. Canet C., Alfonso P., Melgarejo J-C., Jorge S. V-rich minerals in contact-metamorphosed Silurian sedex deposit in the Poblet area, Southwestern Catalonia, Spain // The Canadian Mineralogist. 2003. V. 41. P. 561-579.
5. Nagashima M., Nishio-Hamane D., Tomita N., Minakawa T., Inaba S. Vanadoallanite-(La): a new epidote-superfgroup mineral from Ise, Mie Prefecture, Japan // Mineralogical Magazine. 2013. V. 77(6). P. 2739-2752.
6. Pan Y., Fleet M.E. Vanadian allanite-(La) and vanadian allanite-(Ce) from the Hemlo gold deposit, Ontario, Canada // Mineralogical Magazine. 1991. N. 55. P. 497-507.