

рождений благородных и цветных металлов – состояние и перспективы». М.: ЦНИГРИ, 2017а. С. 34–35.

Кузнецов В. В., Серавина Т. В., Кудрявцева Н. Г., Кузнецова С. В. Рудно-формационные типы полиметаллических месторождений российской части Рудного Алтая, обстановки их локализации, условия и механизм рудообразования // Мат. междунар. науч.-практ. конф. «Минерагения Казахстана». Алматы: Институт геологических наук, 2017б. С. 77–81.

Серавина Т. В., Инякин А. В. Прогнозно-поисковые модели полиметаллических месторождений Сибири / Мат. V междунар. конф. молодых ученых и специалистов пам. ак. А. П. Карпинского. СПб: ВСЕГЕИ, 2017. С. 303–305.

Серавина Т. В., Инякин А. В., Кузнецов В. В., Мурзин О. В., Зяятдинов М. Р., Конкина А. А., Кудрявцева Н. Г. Особенности и условия накопления вулканогенно-осадочных отложений нижнего кембрия (Салаирский кряж) // Отечественная геология. 2017. № 2. С. 22–30.

А. А. Компанченко

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

Cr-Sc-V минерализация в колчеданных рудах протерозойских супракрустальных комплексов Кольского региона
(научный руководитель д.г.-м.н. А. В. Волошин)

Объектом настоящего исследования стало колчеданное проявление Брагино, расположенное в осевой части восточного блока Южно-Печенгской структурной зоны, которая является частью нижнепротерозойской рифтогенной структуры Печенга-Имандра-Варзуга (ПИВ). Ряд проявлений колчеданных руд установлен в зоне контакта Хибинского щелочного массива в вулканогенно-осадочных (супракрустальных) комплексах Имандра-Варзугской структурной зоны. Объекты приурочены к одной стратиграфической позиции, имеют сходное время образования и сложены метаморфизованными пирротиновыми рудами [Балашов, 1996; Ахмедов и др., 2004]. В колчеданных рудах участка Брагино Cr-Sc-V минерализация представлена как оксидами, так и силикатами (табл.). Преобладающее развитие получила ванадиевая минерализация.

Т а б л и ц а

Минеральные формы Cr-Sc-V минерализации в колчеданных рудах Кольского региона

Название минерала	Формула	Брагино, Южная Печенга	Прихи- бинье*
1	2	3	4
Оксиды			
Карелианит	V_2O_3		+
Рутил	TiO_2	+	+
Ильменит	$FeTiO_3$	+	+
Кзылкумит	$Ti_2VO_5(OH)$	+	
Шрейерит	$V_2Ti_3O_9$	+	

Окончание табл.

1	2	3	4
Тиванит	$\text{TiVO}_3(\text{OH})$	+	
Бердесинскийит	V_2TiO_5	+	
Ноланит	$(\text{V}^{3+}, \text{Fe}^{3+}, \text{Fe}^{2+}, \text{Ti})_{10}\text{O}_{14}(\text{OH})_2$	+	
Хромит	FeCr_2O_4	+	+
Кульсонит	FeV_2O_4	+	+
Магнетит	FeFe_2O_4	+	+
Ганит	ZnAl_2O_4		+
Шпинель	MgAl_2O_4		+
Герцинит	FeAl_2O_4		+
Кричтонит	$\text{Sr}(\text{Mn}, \text{Y}, \text{U})\text{Fe}_2(\text{Ti}, \text{Fe}, \text{Cr}, \text{V})_{18}(\text{O}, \text{OH})_{38}$	+	
Сенаит	$\text{Pb}(\text{Mn}, \text{Y}, \text{U})(\text{Fe}, \text{Zn})_2(\text{Ti}, \text{Fe}, \text{Cr}, \text{V})_{18}(\text{O}, \text{OH})_{38}$	+	
Линдслейит	$(\text{Ba}, \text{Sr})(\text{Zr}, \text{Ca})(\text{Fe}, \text{Mg})_2(\text{Ti}, \text{Cr}, \text{Fe})_{18}\text{O}_{38}$	+	+
Ловерингит	$(\text{Ca}, \text{Ce}, \text{La})(\text{Zr}, \text{Fe})(\text{Mg}, \text{Fe})_2(\text{Ti}, \text{Fe}, \text{Cr}, \text{Al})_{18}\text{O}_{38}$		+
Давидит-(La)	$\text{La}(\text{Y}, \text{U})\text{Fe}_2(\text{Ti}, \text{Fe}, \text{Cr}, \text{V})_{18}(\text{O}, \text{OH}, \text{F})_{38}$	+	+
Давидит-(Ce)	$\text{Ce}(\text{Y}, \text{U})\text{Fe}_2(\text{Ti}, \text{Fe}, \text{Cr}, \text{V})_{18}(\text{O}, \text{OH}, \text{F})_{38}$	+	+
Силикаты			
Голдманит	$\text{Ca}_3\text{V}^{3+}_2(\text{SiO}_4)_3$		+
Гроссуляр	$\text{Ca}_3\text{Al}_2(\text{SiO}_4)_3$		+
Андрадит	$\text{Ca}_3\text{Fe}_2(\text{SiO}_4)_3$		+
Титанит	$\text{CaTi}(\text{SiO}_4)\text{O}$	+	+
Мухинит	$\text{Ca}_2(\text{Al}_2\text{V}^{3+})(\text{Si}_2\text{O}_7)(\text{SiO}_4)\text{O}(\text{OH})$		+
Ванадомухинит**	$\text{Ca}_2(\text{V}^{3+}_2\text{Al})(\text{Si}_2\text{O}_7)(\text{SiO}_4)\text{O}(\text{OH})$		+
Алланит-(Ce)	$\text{CaCe}(\text{Al}_2\text{Fe}^{2+})(\text{Si}_2\text{O}_7)(\text{SiO}_4)\text{O}(\text{OH})$		+
Ванадоалланит-(Ce)**	$\text{CaCeV}^{3+}\text{AlFe}^{2+}(\text{Si}_2\text{O}_7)(\text{SiO}_4)\text{O}(\text{OH})$	+	
Ванадоалланит-(Nd)**	$\text{CaNdV}^{3+}\text{AlFe}^{2+}(\text{Si}_2\text{O}_7)(\text{SiO}_4)\text{O}(\text{OH})$	+	
Клиноцоизит	$\text{Ca}_2\text{Al}_3(\text{Si}_2\text{O}_7)(\text{SiO}_4)\text{O}(\text{OH})$		+
Пумпелиит	$\text{Ca}_2\text{Al}_3(\text{Si}_2\text{O}_7)(\text{SiO}_4)\text{O}(\text{OH})$		+
Дравит	$\text{NaMg}_3\text{Al}_6(\text{Si}_6\text{O}_{18})(\text{BO}_3)_3(\text{OH})_3(\text{OH})$		+
Тортвейтит	$\text{Sc}_2\text{Si}_2\text{O}_7$	+	
Диопсид	$\text{CaMgSi}_2\text{O}_6$		+
Геденбергит	$\text{CaFe}^{2+}\text{Si}_2\text{O}_6$		+
Джервисит	$\text{NaSc}^{3+}\text{Si}_2\text{O}_6$	+	
Феррожедрит	$\square\text{Fe}^{2+}_2(\text{Fe}^{2+}_3\text{Al}_2)(\text{Si}_6\text{Al}_2)\text{O}_{22}(\text{OH})_2$		+
Жедрит	$\square\text{Mg}_2(\text{Mg}_3\text{Al}_2)(\text{Si}_6\text{Al}_2)\text{O}_{22}(\text{OH})_2$		+
Магнезиорибекит	$\square\text{Na}_2(\text{Mg}_3\text{Fe}^{3+}_2)\text{Si}_8\text{O}_{22}(\text{OH})_2$		+
Роскоэлит	$\text{KV}^{3+}_2(\text{Si}_3\text{Al})\text{O}_{10}(\text{OH})_2$	+	
Мусковит	$\text{KAl}_2(\text{Si}_3\text{Al})\text{O}_{10}(\text{OH})_2$	+	
Флогопит	$\text{KMg}_3(\text{AlSi}_3\text{O}_{10})(\text{OH})_2$	+	
Клинохлор	$\text{Mg}_5\text{Al}(\text{AlSi}_3\text{O}_{10})(\text{OH})_8$	+	
Шамозит	$(\text{Fe}^{2+}, \text{Mg}, \text{Al}, \text{Fe}^{3+})_6(\text{Si}, \text{Al})_4\text{O}_{10}(\text{OH}, \text{O})_8$	+	
Фаза V-Al-Si-O**		+	
Фаза Fe-Al-Si-S-O**		+	

Примечание. Жирным курсивом указаны собственные минеральные формы Cr, Sc и V. Жирным выделены минералы, установленные автором впервые для Кольского региона. * – по данным работ [Карпов и др., 2012а; 2012б; 2013а; 2013б; 2016] и устным сообщениям; ** – фазы, которые не имеют на сегодняшний день статуса минерального вида.

Оксидная минерализация разделяется на две ветви – Fe-V(Cr) и Ti-V оксиды. Представителями первой ветви являются хромит, сохранившийся в виде реликтов в кульсоните, кульсонит и ноланит. Вторая ветвь представлена редкими кызылкумитом, шрейеритом, тиванитом и бердесинскиитом. В качестве примеси V установлен в ильмените и рутиле. Аналогично колчеданным рудам Прихобины, на проявлении Брагино выявлен ряд минералов группы кричтонита, которые также характеризуются повышенными содержаниями V (до 23 мас. % V_2O_3) и Sc (до 3 мас. % Sc_2O_3): кричтонит, сенаит, линдслейит, давидит-(La), давидит-(Ce) [Карпов и др., 2016].

Среди силикатов V установлены роскоэлит и два потенциально новых минеральных вида, которые требуют дальнейшего исследования (фаза V-Al-Si-O состава и Nd- и Ce-аналоги ванадоалланита-(La)). Примесь V_2O_3 установлена в мусковите (до 16 мас. %), флогопите (до 5 мас. %), шамозите (до 12 мас. %), клинохлоре (до 3 мас. %), титаните (до 5 мас. %) и др. В качестве примеси в силикатах отмечается Cr. Впервые в колчеданных рудах Кольского региона выявлены собственные минеральные формы Sc – тортвейтит и джервисит, которые также содержат примесь V_2O_3 (до 3 и 4 мас. %, соответственно).

Ванадиевая минерализация в колчеданных рудах Прихобины представлена четырьмя собственными минеральными видами: оксидами (карелианит, кульсонит) и силикатами (мухинит и голдманит) (см. табл.). Выделяются мухинит с содержанием V_2O_3 8–10 мас. % и минерал группы эпидота с высоким содержанием V_2O_3 (до 20 мас. %), который назван исследователями «ванадомухинит» [Карпов и др., 2013a]. Ванадий в качестве существенной примеси установлен в других минералах этой ассоциации: минералах группы кричтонита, шпинели, титаните, орто- и клинопироксенах, амфиболах и др. (см. табл.). Необычно высокие содержания V_2O_3 (до 20 мас. %) выявлены в минералах группы кричтонита. Еще одной особенностью минералов этой группы является высокое содержание Sc_2O_3 (до 2.4 мас. %) [Карпов и др., 2016].

Из таблицы видно, что в Прихобины широко развита скарновая ассоциация, представленная кальциевыми силикатами. Согласно [Карпов и др., 2013a], образование минералов V могло проходить в две стадии: 1 – кристаллизация первичных оксидных ванадиевых фаз – карелианита, кульсонита, связанная с региональным метаморфизмом сульфидных высокоуглеродистых пород; 2 – кристаллизация ванадиевых и ванадийсодержащих кальциевых силикатов (мухинит, голдманит) на регрессивной стадии метаморфизма в результате кремнеземисто-кальциевого метасоматоза с формированием типичных минералов скарновой ассоциации. Толчком к их образованию стало, по мнению исследователей, внедрение крупной Хибинской интрузии.

Таким образом, распространение ванадиевых, скандиевых и хромсодержащих минералов в колчеданных рудах структуры ПИВ, может указывать на особую Cr-Sc-V специализацию вулканогенно-осадочных комплексов. Генетическая позиция Cr-Sc-V типа минерализации, а также источник этих элементов, остаются не установленными.

Литература

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.

Балаиов Ю. А. Геохронология раннепротерозойских пород Печенгско-Варзугской структуры Кольского полуострова // *Петрология*. 1996. Т. 4. № 1. С. 3–25.

Карпов С. М., Волошин А. В., Савченко Е. Э. Ванадиевая минерализация в колчеданном месторождении «Пирротинное ущелье» (Кольский полуостров) // *Металлогения древних и современных океанов–2012. Гидротермальные поля и руды*. Миасс: ИМин УрО РАН, 2012а. С. 140–144.

Карпов С. М., Волошин А. В., Савченко Е. Э., Селиванова Е. А., Полеховский Ю. С. Кульсонит в месторождении Пирротинное ущелье (Кольский полуостров): первая находка в России // *Доклады Академии наук*. 2012б. Т. 446. № 1. С. 64–66.

Карпов С. М., Волошин А. В., Савченко Е. Э., Селиванова Е. А. Минералы ванадия в рудах колчеданного месторождения Пирротинное ущелье (Прихибинье, Кольский полуостров) // *Записки РМО*. 2013а. № 3. С. 83–99.

Карпов С. М., Волошин А. В., Савченко Е. Э. Две ветви ванадиевой минерализации в докембрийских колчеданных месторождениях Феноскандинавского щита // *Мат. X Всерос. Фермановской научн. сессии «Геология и стратегические полезные ископаемые Кольского региона»*. 2013б. С. 147–151.

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.

А. А. Компанченко
Геологический институт КНЦ РАН, г. Анатиты
komp-alena@yandex.ru

Необычные минеральные ассоциации и минеральные формы Sc и W в колчеданных рудах Южной Печенги, Кольский регион (научный руководитель д.г.-м.н. А. В. Волошин)

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 юго-восточного блока ЮПСЗ. Центральная часть участка представлена метапикробазальтами меннельской толщи, на северном и южном флангах – вулканогенно-осадочными образованиями брагинской свиты. В вулканитах за пределами участка закартированы малые тела диоритов, гранит-порфиров, лампрофиров и сиенитов. По вулканогенно-осадочным толщам широко развиты метасоматические образования – кварциты, березиты, листовениты, основные метасоматиты и альбититы [Ахмедов и др., 2004]. По текстурным признакам колчеданные руды участка Брагино разделены на четыре типа: массивные, полосчатые, брекчированные и вкрапленные.

Наиболее распространенные массивные руды разделены на три типа в зависимости от содержания сульфидов. Руды первого типа в центральной части рудного тела состоят на 90–95 % из сульфидов, 90 % которых приходится на пирротин, остальные – марказит и пирит, халькопирит, молибденит. Руды второго типа 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,