

С. М. Карпов, А. В. Волошин, Е. Э. Савченко
Геологический институт КНЦ РАН, г. Апатиты
skarpov@geoksc.apatity.ru

**Ванадиевая минерализация на колчеданном месторождении
Пирротиновое ущелье (Кольский полуостров)**

Имандра-Варзугская структурная зона (ИВСЗ) является изолированной частью крупного палеопротерозойского (2.5–1.75 млрд лет) Печенга-Имандра/Варзугского-Усть-Панойского рифтогенного пояса, расположенного в северо-восточной части Балтийского щита (Кольский полуостров). В пределах пояса известны многочисленные колчеданные проявления, которые были выявлены попутно при проведении поисковых и разведочных работ на никель.

В 30-х гг. прошлого столетия в зоне контакта Хибинского щелочного массива с породами ИВСЗ проводилась целенаправленная разведка пирротиновых руд для нужд химико-обогачительного производства. Было выявлено четыре месторождения и ряд рудопроявлений. Детальные минералогические исследования не проводились. В связи с этим главной задачей наших работ являлось изучение минерального состава, текстурных и структурных особенностей руд, а также решались вопросы выявления минеральных форм благородных металлов, повышенные концентрации которых были выявлены здесь ранее [Жаднова и др., 1975ф].

Изучение рудных минералов в аншлифах проводилось на оптическом микроскопе Аxioplan и на сканирующем электронном микроскопе LEO-1450 с оценкой состава фаз с помощью энергодисперсионной приставки Rontec. Химический состав для однородных зерен минералов размером более 20 мкм выполнялся с помощью волнодисперсионного электронно-зондового микроанализатора MS-46 Cameca.

Материалом для исследований послужила коллекция штучных образцов, отобранных из отвалов и штабелей руд, разведочных штолен 1933 г. Образцы характеризуют разные текстурные особенности колчеданных руд.

Район месторождения Пирротиновое ущелье расположен в полосе контакта щелочных пород Хибинского массива с породами ИВСЗ. В разрезе ИВСЗ принимают участие вулканогенно-осадочные толщи, представленные чередованием метабазалтов с терригенно-сланцевым комплексом (железисто-углеродистые кварциты, черные углеродистые сланцы, метаалевропесчаники, метаалевролиты, метаалевропелиты, мелкие прослои карбонатных пород и др.). Отмечаются субсогласные тела метагабброидов, редко секущие тела пикритов и оливин-пироксеновых пород. Породы разреза метаморфизованы в условиях зеленосланцевой фации биотит-хлорит-актинолитовой субфации метаморфизма [Загородный и др., 1982]. Для углеродистых пород Имандра-Варзугской структурной зоны, которые являются вмещающими для колчеданных руд Прихибинья, отмечаются повышенные концентрации ванадия и хрома [Мележик и др., 1988].

В районе месторождения Пирротиновое ущелье сосредоточено три рудных тела, расположенных на северном склоне ущелья. Рудные тела имеют пластообразную или линзообразную формы залежей, согласные с простираем вмещающих пород. Основное рудное тело месторождения прослежено по простираению горными выработками на расстояние до 100 м, при мощности от 2 до 11 м (средняя – 5.5 м). Вмещающими породами являются ороговикованные метаморфические сланцы, вблизи контакта со щелочными породами переходящие в роговики. Наиболее распространенными типами руд являются брекчиевидные, очковые, массивные, реже сетчатые и полосчатые.

В минеральном составе руд пирротин является преобладающим минералом. Кроме того, здесь присутствуют сфалерит, халькопирит, пирит, галенит, молибденит и графит. В качестве единичных выделений установлены аргентопентландит, брейтгауптит, пентландит. Благороднометальная и теллуридная минерализация, связанная с леллингит-арсенопиритовыми агрегатами, представлена золотом (электрум), серебром, пираргиритом, гесситом, алтаитом и садберитом. Нерудные минералы составляют не более 10–15 % объема руд и включают кварц, альбит, диопсид, минералы группы граната, титанит, апатит, турмалин, кальцит, сидерит. Также установлены редкие аксессуарные минералы: браннерит и другие сложные оксиды U и Pb, фосфаты и карбонаты REE. В составе руд впервые для колчеданных проявлений Кольского полуострова выявлена ванадиевая минерализация.

Ранее в ксенолитах вулканогенно-осадочных пород Хибинского массива был описан ряд ванадийсодержащих минералов: карелианит, вуорелайненит (марганцевый аналог кульсонита) и некоторые другие минералы [Михайлова и др., 2004]. Установленная нами ванадиевая минерализация наиболее широко представлена в полосчатых рудах, сложенных мелкозернистым пирротинном. По всей видимости, этот тип руд приурочен к краевым частям тел месторождения. В настоящее время установлены три собственных минеральных вида с видообразующей ролью ванадия: карелианит, кульсонит и голдманит. Ванадий также установлен в виде примеси в других минералах: гроссуляре, диопсиде и титаните. Химический состав минералов приведен в таблице.

Т а б л и ц а

Химический состав ванадиевых и ванадийсодержащих минералов, мас. %

	Карелианит	Кульсонит	Голдманит	Гроссуляр	Диопсид	Титанит
K ₂ O						0.02
Na ₂ O					0.42	
FeO		24.62			0.56	0.79
Fe ₂ O ₃	7.93		2.12	3.71		
MnO	0.74	6.55	0.19	2.14	0.07	0.05
MgO		0.09	0.15		16.77	0.08
CaO	0.47	0.18	32.75	34.07	24.59	27.93
ZnO		2.48				
V ₂ O ₃	90.86	54.21	22.14	1.31	1.40	0.30
Cr ₂ O ₃		9.40	2.39	0.10		
TiO ₂		0.89	0.66	0.70	0.24	37.44
Al ₂ O ₃		0.85	2.64	18.51	1.16	1.20
SiO ₂		0.19	35.66	38.98	54.47	29.95
Сумма	100	99.46	98.71	99.53	99.68	98.76
Формульные коэффициенты						
K						0.001
Na					0.030	
Fe ²⁺		0.767			0.017	0.022
Fe ³⁺	0.150		0.133	0.215		
Mn	0.016	0.207	0.014	0.140	0.002	0.001
Mg		0.005	0.018		0.908	0.004
Ca	0.013	0.007	2.917	2.809	0.956	0.991
Zn		0.068				
V	1.831	1.618	1.476	0.081	0.041	0.008
Cr		0.277	0.157	0.006		
Ti		0.025	0.041	0.041	0.006	0.957
Al		0.037	0.259	1.679	0.050	0.047
Si		0.007	2.965	3.000	1.977	0.992

Примечание. Формульные коэффициенты рассчитаны на 3 атома кислорода для карелианита, на 4 – для кульсонита, на 5 – для титанита, на 6 – для диопсида и на 12 – для минералов группы граната.

Первичным ванадиевым минералом является *карелианит*. Он наблюдается в виде скелетных кристаллов размером до 0.1 мм с мелкими включениями графита, пирротина, в тесном сростании с гроссуляром и голдманитом (рис. 1). В таких сростках нередко присутствует реакционная зональность от центра к краю: карелианит – голдманит – гроссуляр. Минерал характеризуется внутрифазовой однородностью. Отличительной особенностью состава карелианита (см. табл.) является высокое содержание Fe_2O_3 . По этому параметру обнаруженный нами карелианит сходен с таковым из колчеданного месторождения Оутокумпу, Финляндия [Long et al., 1963].

Кульсонит является первой находкой в России. В мире достоверно известны лишь три находки этого минерала [Radtke, 1962; Спиридонов, 1979; Canet et al., 2003]. В нашем случае минерал образует редко одиночные кристаллы, но чаще – агрегаты и сложные сростки индивидов в тесной ассоциации с голдманитом, гроссуляром и диопсидом с многочисленными мелкими включениями пирротина, графита и силикатов, реже в виде однородных зерен размером до 0.1 мм (рис. 2). Размеры агрегатов кульсонита до 0.2 мм. Минерал часто окружен каемкой, сложенной голдманитом, гроссуляром и диопсидом. В отраженном свете кульсонит серого цвета, изотропный, внутренние рефлексы отсутствуют. Отражение минерала ниже, чем у магнетита ($R = 16.26\%$ при $\lambda = 550$ нм). Минерал хрупкий, твердость средняя. Кульсонит в своем химическом составе (см. табл.) содержит в качестве примесей заметное количество Mn, Zn и Cr, в незначительных количествах отмечаются Mg, Al, Ti.

Минералы группы граната (голдманит и гроссуляр) формируют устойчивую минеральную ассоциацию, образуя совместно с диопсидом реакционные каймы вокруг зерен карелианита, кульсонита, реже пирротина, но чаще всего наблюдаются в виде пойкилобластовых агрегатов размером до 1.5 мм с включениями пирротина и графита. Голдманит в агрегатах локализуется в центральной части и имеет блочную микроструктуру (микроблоки гроссуляра). Содержания V_2O_3 и Cr_2O_3 в голдманите составляют (мас. %): 22.14 и 2.39; в гроссуляре соответственно 1.31 и 0.10.

Диопсид, кроме указанных выше ассоциаций и сростаний, образует отдельные мелкие зерна в существенно кварцевых прослоях, а также в секущих прожилках кварца. В химическом составе диопсида отмечается устойчивое присутствие V_2O_3 (1.4 мас. %).

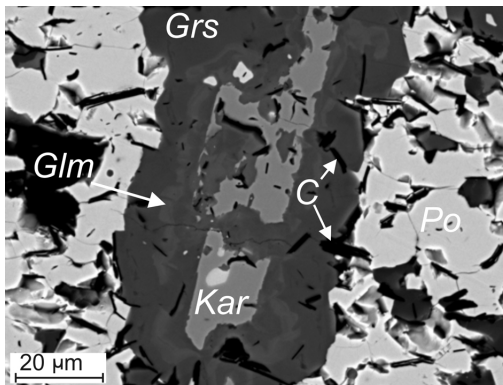


Рис. 1. Характер выделений карелианита (*Kar*). *Po* – пирротин, *Glm* – голдманит, *Grs* – гроссуляр, *Di* – диопсид, *C* – графит. BSE-снимок.

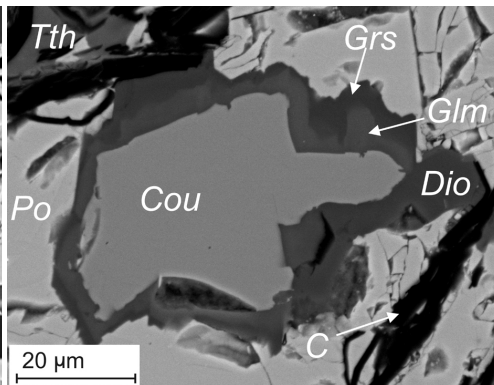


Рис. 2. Морфология выделений кульсонита (*Cou*). *Po* – пирротин, *Glm* – голдманит, *Grs* – гроссуляр, *Di* – диопсид, *Tth* – титанит, *C* – графит. BSE-снимок.

Титанит является распространенным минералом и наблюдается в виде пойкилобластовых призматических зерен размером до 1 мм с включениями округлой формы пирротина, кварца, альбита и чешуек графита. В минерале отмечается незначительная примесь V_2O_3 (до 0.30 мас. %).

Взаимоотношения изученных фаз ванадиевой минерализации свидетельствуют, по крайней мере, о двух стадиях минералообразования. Первая стадия проявлена в кристаллизации оксидных ванадиевых фаз – карелианита и кульсонита. Со второй стадией, по-видимому, в условиях регрессивного метаморфизма, связано образование минералов группы гранатов и пироксенов, когда в результате кремнекальциевого метасоматоза происходит последовательное замещение первичных ванадиевых минералов голдманитом, гроссуляром и диопсидом.

По литературным данным, типоморфными ассоциациями редких минералов докембрийских интенсивно метаморфизованных колчеданных месторождений мира являются сульфиды Cu и Ag, Sb – сульфосоли, силикаты Ba, алломошпинели Zn и Fe, оксиды V и U, фосфаты Ca и REE [Еремин и др., 1999]. Установленная и широко проявленная ванадиевая минерализация в рудах месторождения Пирротиновое ущелье позволяет нам отнести его к типичным вулканогенно-осадочным колчеданным месторождениям докембрия.

Литература

Еремин Н. И., Дергачев А. Л., Сергеева Нат. Е., Позднякова Н. В. Типы колчеданных месторождений вулканической ассоциации // Вестник ОГГТН РАН. 1999. № 4(10). URL:http://www.scgis.ru/russian/cp1251/h_dggms/4-99/eremin.htm.

Жаднова Т. П. и др. Изучение условий локализации и геологических перспектив золотого оруденения древних выступов Русской платформы // Отчет ЦНИГРИ. Апатиты: Фонды МФ ФГУ ТФИИ, 1975ф. 230 с.

Загородный В. Г., Предевский А. А., Басалаев А. А. и др. Имандра-Варзугская зона карелид (геология, геохимия, история развития). Л.: Наука, 1982. 280 с.

Мележик В. А., Басалаев А. А., Предевский А. А. и др. Углеродистые отложения ранних этапов развития Земли (геохимия и обстановки накопления на Балтийском щите). Л.: Наука, 1988. 197 с.

Михайлова Ю. А., Пахомовский Я. А., Меньшиков Ю. П. Таусонит, бадделеит и вурелайнит из роговиков г. Каскаснюнчорр (Хибинский массив) // Тр. ФНС. КО РМО. 2004. Апатиты. С. 28–29.

Спирidonov Э. М. Титанистый кулсонит месторождения Калгурли, Австралия // Доклады АН СССР. 1979. Т. 245. № 2. С. 447–449.

Canet C., Alfonso P., Melgarejo C.-J., Jorge S. V-rich minerals in contact-metamorphosed Silurian Sedex deposits in the Poblet area southwestern Catalonia, Spain // Canadian Mineralogist. 2003. Vol. 41. P. 561–579.

Long J. V. P., Vuorelainen Y., Kouvo O. Karelianite, a new vanadium mineral // American Mineralogist. 1963. Vol. 48. P. 33–41.

Radtke A. S. Coulsonite, FeV_2O_4 , a spinel-type mineral from Lovelock, Nevada // American Mineralogist. 1962. Vol. 47. P. 1284–1291.