МИНЕРАЛЫ ЭЛЕМЕНТОВ ПЛАТИНОВОЙ ГРУППЫ В РАЗРЕЗЕ ЮЖНОГО РИФА ЗАПАДНО-ПАНСКОГО МАССИВА

Чернявский А.В.¹, Грошев Н.Ю.¹, Корчагин А.У.², Шиловских В.В.³

¹ Геологический институт КНЦ РАН, Апатиты, nikolaygroshhev@gmail.com

² ОАО «Пана», Апатиты

³ РЦ «Геомодель», СПбГУ, Санкт-Петербург

Введение

В Южном платинометальном рифе Западно-Панского массива Федорово-Панского расслоенного комплекса (ФПРК) ранее было установлено 29 минералов элементов платиновой группы (ЭПГ) и золота. Оруденение рифа является переотложенным и характеризуется резким преобладанием палладия над платиной ($Pd/Pt \sim 10$). Минералы платиновых металлов (МПМ) представлены преимущественно куперитом-брэггитом и высокоцитом [2]. Проведенное нами исследование геохимических вариаций и минерального состава платинометального оруденения в скважине BG-S-30 (рис. 1, а) позволило выделить три минеральные ассоциации МПМ, сменяющие друг друга в разрезе рифа: сульфидную (тип 1), арсенидно-сульфидно-теллуридную (тип 2) и антимонидно-арсенидно-теллуридную (тип 3). Сравнение с оруденением классического J-M рифа комплекса Стиллуотер подтвердило переотложенный характер платинометальной минерализации в Южном рифе, предполагавшийся В.В. Субботиным с коллегами [2]. Кроме этого, было установлено два новых для рифа МПМ – паларстанид и стибиопалладинит, причем последний – впервые для ФПРК. Неизвестная ранее минеральная фаза состава $(Pd, Ag)_2(Te, Sn)$, наблюдаемая в ассоциации с паларстанидом, является, по-видимому, первой находкой в мире.

Рис. 1. а – Фрагмент геологической колонки скважины BG-S-30, пересекающей Южный риф на участке Южный Каменник, с вариациями содержаний Au, Pt, Pd (ppm). б–с – фотографии спилов образцов керна рудных (б) и безрудных (с) анортоситов. Цифрами показаны условные геохимические типы платинометальной минерализации: 1-ый тип ($Pd/Pt=2-6$) представлен аншлифами 27.5, 27.55; 2-ой тип ($Pd/Pt>10$) – 27.8, 27.9, 28.15, 28.15(2); 3-ий тип ($Pd/Pt=6-10$) – 30.0, 30.2. Сокращения: с/з – среднезернистый, н/з – неравномернозернистый, к-с/з – крупно-среднезернистый.

Методы исследования

ЭПГ и золото определены в керновых пробах (рис. 1, а) методом атомно-эмиссионной спектроскопии с индуктивно-связанной плазмой после пробирной плавки проб в лаборатории «Стюарт Геокемикл энд Эссей» (г. Москва). Три типа платинометального оруденения Южного рифа (рис. 1, а), выделенные в разрезе условно по геохимическим признакам, исследованы в 8 аншлифах. Используемые для сравнения рудные анортозиты J-M рифа (Стиллуотер, США), изучены в образце СТ-1-15, который был предоставлен В.П. Павловым. Минеральный состав исследовался в РЦ «Геомодель» (г. Санкт-Петербург, аналитик В.В. Шиловских) на сканирующем электронном микроскопе Hitachi S-3400N с использованием энерго-дисперсионного спектрометра (EDX) Oxford X-Max 20 при следующих установках: ускоряющее напряжение 20кВ, ток зонда 1,5нА, экспозиция 30 секунд на спектр, оптимизация зонда перед измерениями проводилась на металлическом кобальте, калибровка спектрометра осуществлялась с использованием стандартных образцов природных и синтетических соединений.

Результаты исследований и обсуждение

Южный риф представлен сульфидной вкрапленностью (1–5 об. %; рис. 1, б) в верхней части 10-15-метрового пласта анортозитов (рис. 1, с) в Верхнем расслоенном горизонте Западно-Панского массива. Во вкрапленности присутствуют халькопирит, пентландит, пирротин, пирит, сфалерит, реже миллерит, Ag- и Pd-пентландит. Минерализованные анортозиты, как и в J-M рифе комплекса Стиллуотер, содержат до нескольких десятков ppm ЭПГ и Au. Отличительной особенностью Южного рифа является прерывистость сульфидной вкрапленности по простиранию и падению анортозитов. Оруденение прослеживается на первые десятки метров и выклинивается, затем появляется вновь в кровле анортозитов. Появление и резкое выклинивание оруденения происходит на протяжении более 15 км простирания пласта. Кроме этого, рифы отличаются друг от друга по морфологии сульфидов (рис. 2, а–б). В Южном рифе сульфиды слагают эмульсионную вкрапленность (рис. 1, б) с единичными более крупными гнездами в агрегате минералов группы эпидота, которые замещают как минералы интерстиций, так и частично кумулусный плагиоклаз (рис. 2, б). В анортозитах J-M рифа процессы замещения проявлены в значительно меньшей степени – сульфиды образуют интерстициальные гнезда с тонкой каймой эпидота между зернами плагиоклаза (рис. 2, а). Макроскопически минерализованные анортозиты комплекса Стиллуотер близки к безрудным анортозитам, встреченным нами в скважине (рис. 1, с).

Вариации концентраций ЭПГ по разрезу скважины (рис. 1, а) позволяют условно выделить три типа оруденения в Южном рифе по геохимическим признакам. Тип 1 и 2 представляют наиболее богатое оруденение и различаются по отношению Pd/Pt – 2–6 и >10 соответственно. Тип 3 отделен в разрезе от предыдущих прослоем безрудных анортозитов и имеет промежуточное отношение Pd/Pt (6–10).

Данные о МПМ в каждом из типов суммированы в табл. 1. Всего в скважине был установлен 21 минеральный вид и одна минеральная фаза ЭПГ и Au. МПМ находятся в эпидоте, в сростаниях и в виде включений в Fe-Ni-Cu сульфидах. Размер большинства встреченных МПМ сравнительно крупный (15–25 мкм). В некоторых случаях это метасомы размером до 300 мкм.

Тип 1 представлен минеральными видами относящимися к элементам, сульфидам (рис. 2, d), теллуридам, арсенидам и теллуроарсенидам, а так же к сульфоарсенидам. С точки зрения преобладающей минеральной ассоциации первый тип является сульфидным, поскольку основным минералом здесь является высокоцит. Этот тип наименее представлен по разнообразию МПМ.

Наибольшим минеральным разнообразием характеризуется *тип 2*, в котором широко представлены сульфиды, теллуриды (рис. 2, e), арсениды (рис. 2, f) и арсенотеллуриды (табл. 1). По набору основных и часто встречающихся минералов этот тип можно отнести к арсенидно-сульфидно-теллуридной минеральной ассоциации. В данном типе были выявлены две новые для Южного рифа фазы: паларстанид и минеральная фаза MPh-2. Паларстанид, образующий выделения размером более 5 мкм (рис. 2, g), удовлетворительно рассчитывается на кристаллохимическую формулу

Рис. 2. BSE изображения МПМ из анортозитов J-М (a) и Южного (b-j) рифов.

Сокращения минералов: Br – брэггит, Ep – минералы группы эпидота, Hol – холлингвортит, Keit – кейтконнит, Kot – котульскит, Luk – лукулайсваараит, Mph – минеральная фаза, Mon – мончеит, Par – палладоарсенид, Pas – паларстанид, Pl – плагиоклаз, Pn – пентландит, Po – пирротин, Py – пирит, Qz – кварц, Sbp – стибипалладинит, Sper – сперрилит, Stl – стиллуотерит, Vys – высокоцит.

$(\text{Pd}_{4.50-4.76}\text{Fe}_{0-0.18}\text{Ni}_{0-0.16})_{4.75-4.85}(\text{Sn}_{0.69-1.53}\text{As}_{0.63-1.42}\text{Hg}_{0.9-0.13})_{2.15-2.25}$. Минерал встречается вместе с мончеитом, котульскитом и сперрилитом. Минеральная фаза MPh-2 имеет состав $(\text{Pd}_{1.05-1.19}\text{Ag}_{0.77-1.16}\text{Fe}_{0-0.05})_{2.02-2.21}(\text{Te}_{0.40-0.68}\text{Sn}_{0.200-0.24}\text{Se}_{0.06-0.18}\text{Au}_{0.10})_{0.79-0.98}$. Выделения Mph-2 были отмечены в краевых частях сульфидных зерен, где они ассоциируют с котульскитом (рис. 2, j) и серебром.

МПМ из руд *tuna 3* представлены элементами, сульфидами (рис. 2, c), теллуридами, арсенидами и отсутствующими в других типах минералами системы Pd-As-Sb (табл. 1). По основным и часто встречающимся МПМ минеральную ассоциацию можно отнести к антимонидно-арсенидно-теллуридной. К минералам системы Pd-As-Sb, выделяющим этот тип среди прочих, относятся мертиит и стибипалладинит; последний ранее в ФПРК не отмечался. Сتيبипалладинит образует выделения размером более 20 мкм. Он обнаружен в сростке со сперрилитом и холлингвортитом на границе халькопирита и эпидота (рис. 2, i). Составы стибипалладинита удовлетворительно рассчитываются на кристаллохимическую формулу $(\text{Pd}_{4.88-5.03}\text{Fe}_{0-0.10}\text{Ni}_{0-0.05})_{5.01-5.06}(\text{Sb}_{1.49-1.99}\text{As}_{0-0.46})_{1.94-1.99}$.

Таким образом, изучение минерального состава трех геохимических типов оруденения Южного рифа позволяет различать в разрезе сульфидную, арсенидно-сульфидно-теллуридную и антимонидно-арсенидно-теллуридную минеральные ассоциации МПМ. В J-М рифе при умеренном отношении Pd/Pt (~4) [3] преобладает сульфидная ассоциация МПМ (табл. 1), как и в наиболее высокоплатиновом оруденении Южного рифа. Отметим, что для понимания генетического значения той или иной ассоциации МПМ и ее связи с геохимией руд требуются дальнейшие детальные исследования других пересечений рифа, однако уже сейчас полученные данные показывают высокие

перспективы изучения разрезов рудных зон ФПРК с точки зрения обнаружения новых минералов.

Таблица 1. МПМ и Au из разреза Южного рифа по скважине BG-S-30 в сравнении с минералами из анортозитов рифа J-M (аншлиф СТ-1-15).

Минерал	Формула	Тип 1	Тип 2	Тип 3	J-M
Элементы					
Золото	Au	••	•••	•	••
Палладий	Pd	••			
Серебро	Ag			••	
<i>Сульфиды Pd-Pt</i>					
Высоцкит	(Pd,Pt,Ni)S	••••	•••	•	••••
Брэггит	(Pt,Pd,Ni)S	••	••	••	••
Лафламмеит	Pd ₃ Pb ₂ S ₂		•		
<i>Теллуриды Pd-Pt</i>					
Кейтконнит	Pd ₂₀ Te ₇	••	••		
Теларгпалит	(Pd,Ag) ₃ Te	•	•••	••	
Котульскит	Pd(Te,Bi)	••	••••	••••	•••
Мончеит	Pt(Te,Bi) ₂		•••	••	•••
Луккулайсваарит	Pd ₁₄ Ag ₂ Te ₉		••		
Сопчеит	Ag ₄ Pd ₃ Te ₄		••		
<i>Арсениды-теллураарсениды Pd-Pt</i>					
Сперрилит	PtAs ₂	••	••	•••	••
Стиллоутерит	Pd ₈ As ₃	••	••		
Торнроозит	Pd ₁₁ As ₂ Te ₂	•	•••	•	
Палладоарсенид	Pd ₂ As		••	•	
<i>Сульфоарсениды ЭПГ</i>					
Холлингуортит	RhAsS			•••	
Ирарсит	(Ir,Os,Ru,Rh,Pt)AsS	••			
<i>Интерметаллиды-антимониды Pd</i>					
Паоловит	Pd ₂ Sn				••
Паларстанид*	Pd ₅ (Sn,As) ₂		••		
Стибиопалладинит**	Pd ₅ Sb ₂			•••	
Мертиит	Pd ₁₁ (Sb,As) ₄			•	••
Мертиит-II	(Pd) ₈ (Sb,As) ₃				••
<i>Минеральные фазы</i>					
MPh-1	Pd ₂ Te				••
MPh-2***	(Pd, Ag) ₂ (Te, Sn)		•	•	

Примечание: • – единичные зерна, •• – редкий, ••• – часто встречающийся, •••• – основной минерал; новые находки: * – для Южного рифа, ** – для ФПРК, *** – в мире.

Работа выполнена в рамках темы НИР №0231-2015-0002 и частично поддержана из средств РФФИ (16-05-00367, 15-35-20501).

Литература

1. Грошев Н.Ю., Борисенко Е.С., Савченко Е.Э. Состав плагиоклаза в разрезе главного анортозитового пласта Западно-Панского платиноносного массива (Кольский полуостров, Россия): новые данные // Вестник КНЦ. 2017. № 1. С. 5-15.
2. Субботин В.В., Корчагин А.У., Савченко Е.Э. Платинометаллическая минерализация Федорово-Панского рудного узла: типы оруденения, минеральный состав, особенности генезиса // Вестник Кольского научного центра РАН. 2012. № 1. С. 55-66.
3. Todd S.G., Keith D.W., Le Roy L.W., Schissel D.J., Mann E.L., Irvine T.N. The JM platinum-palladium reef of the Stillwater Complex, Montana; I, Stratigraphy and petrology // Econ. Geol. 1982. 77(6). P. 1454-1480.