

Литература

1. Билибина Т.В. Блоковая тектоника и геодинамика земной коры северо-запада Русской платформы и принципы прогнозирования рудоносных структур // Блоковая тектоника и перспективы рудоносности Русской платформы. Л.: ВСЕГЕИ, 1986. С. 22-29.
2. Добрынина М.И. Отражение характера тектоно-магматических активизаций в физических полях восточной части Балтийского щита и севера Русской плиты // Геология и полезные ископаемые севера Русской платформы. М.: Мингео РСФСР. 1987. С. 37-47.
3. Кутинов Ю.Г., Чистова З.Б. Иерархический ряд проявлений щелочно-ультраосновного магматизма Архангельской алмазоносной провинции. Их отражение в геолого-геофизических материалах. Архангельск: ОАО «ИПП «Правда Севера», 2004. 283 с.
4. Станковский А.Ф., Веричев Е.М., Гриб В.П. и др. Венд юго-восточного Беломорья // Изв. АН СССР. Сер геол., 1981. № 2. С. 78-87.
5. Станковский А.Ф., Сеницын А.В., Шинкарев Н.Ф. Погребенные траппы Онежского полуострова // Вест. ЛГУ, 1972. № 18. С. 39-52.

Минералогия руд и околорудных метасоматитов месторождения Воронов Бор, Карелия

Лавров О.Б., Кулешевич Л.В.

Учреждение Российской академии наук Институт геологии КАР НЦ РАН, г. Петрозаводск,
e-mail: petrlavrov@list.ru; kuleshev@krc.karelia.ru

Месторождение медных руд Воронов Бор было открыто в 1771 году и разрабатывалось около 8 лет, затем после перерыва с конца XIX века по 1913 год. Часть руд была вывезена, часть складирована в штабеля, со временем разрушенные. На этом небольшом сульфидном медном месторождении, отнесенном впоследствии к формации медистых песчаников, было добыто 960 тыс. пудов медной руды. Оруденение представлено халькопиритовым, борнит-халькозиновым и промежуточным халькопирит-борнит-халькозиновым минеральными типами. Данные о золоте и серебре в медных рудах этого месторождения встречаются в исторических сведениях и работах П.А. Борисова 1910 года. Доизучение месторождения и опробование на золото проводилось в разные годы геологами различных организаций - Карельской ГЭ и ИГ КарНЦ РАН (А.М. Тарасенковым, Ю.Б. Головановым, В.В. Сиваевым, А.И. Голубевым, авторами статьи и другими исследователями). Месторождение содержит в среднем 1.3 % Cu (макс. до 6 %), ресурсы меди категории P₂ составляют 170 тыс. т, забалансовые запасы – 11 тыс. т [1]. Руды содержат Au от 0.1 до 3.7 г/т, Ag – 10–125 (до 990 г/т в богатых рудах [1]), Mo 0.008–0.04 %, W до 0.013 %, Se – 70-100 г/т, Pd – 0.053–0.079 % (данные авторов). По историческим сведениям концентрация Au достигала 78 г/т.

Месторождение расположено в Медвежьегорском районе (центральная Карелия), в западном крыле Пергубской синклинали (северное обрамление Онежской структуры, переходящей в Кумсинскую). Вмещающие ятулийские толщи - песчаники и гравелиты медвежьегорской свиты (PR1jt2) и metabазальты янгозерской свиты (PR1jt1) образуют небольшую синклиналиную структуру, полого смяты и метаморфизованы в условиях низкотемпературной зеленосланцевой фации. Оруденение приурочено к участку локально-проявленной деформации в породах ятулийского надгоризонта: полого падающие на восток породы (18-20°) осложнены складкой, сопровождающей формирование СЗ сдвиговой зоны, являющейся продолжением Святухинско-Космозерской зоны СРД, выделенной в Онежской структуре по работам «Невскгеология» и прослеживаемой на СЗ.

Рудное тело по данным бурения, проведенного КГЭ, имеет форму линзы длиной 300 м, мощностью 3-12 м, прослеженной на 120–150 м. Руды вкрапленно-, и гнездово-прожилковые с содержанием сульфидов 5-40 %. Прожилки чаще субвертикальные, короткие, гнезда имеют вид «порфировых» выделений. На южном фланге месторождения вмещающие толщи секутся более поздними карцевыми жилами СЗ и СВ простираения, содержащими золото (по данным КарГЭ). Их мощность 0.05-0.8 м, протяженность до 20 м.

Рудовмещающие толщи представлены кварцито-песчаниками, кварцевыми гравелитами и метабазами, в восточной части месторождения выявлены габбро-диабазы. Вмещающие кварцито-песчаники и метабазалы на участке пересекаются телом субщелочных светло-розовых фельзитовых пород (альбитофилов) секущей жильной и сложной формы. В его ореоле породы сильно изменены: эпидотизированы, хлоритизированы, альбитизированы. В зальбандах сульфидно-кварцевых прожилков развит альбит, микроклин, эпидот, хлорит.

Метасоматиты имеют разные контрастные цвета – розовые, зеленые, зеленовато-желтые, в зависимости от минерального состава. Измененные метабазалы имеют темно-зеленый цвет: все темноцветные минералы полностью замещены хлоритом. Так как они содержат альбит, кварц, наложенный биотит, серицит (2-5 %), иногда турмалин (до 1-2 %), эпидот, карбонат, в них повышается концентрация K, Li, Rb, Ba, Sr. Дорудные изменения в кварцито-песчаниках и кварцевых конгломератах пород представлены белыми слюдами, альбитом, микроклином, либо зонами, в которых увеличивается количество эпидота, сфена, апатита, хлорита. Сброс выщелоченных из метабазалов компонентов - Ca, Ti, P и их переотложение в кварцито-песчаниках происходит в коричневатых прожилках и гнездах, содержащих сфен до 20 %, эпидот, апатит. Сфен образует выделения фрамбоидальной формы. Апатит - округлые зерна размером до нескольких мм, он обычно находится в сростании эпидотом, иногда с цирконом и ксенотимом. Широко распространен зональный гидротермальный циркон. Он образует изометричные зональные зерна, иногда содержит примесь Hf до 1.80 %, а в краевых зонах - Al, Ca, Fe. Из редких акцессорных и радиоактивных минералов установлены торит, монацит и уранинит. Белые слюды содержат невысокие концентрации Mg, Fe; в них Si замещается на Al (~0.6-0.7 форм. единиц). Хлорит имеет Fe-Mg состав ($f=29-32.8$), а средняя расчетная $T_{обр.}=260^{\circ}\text{C}$. Она, вероятно, близка начальной температуре метасоматического процесса. Карбонат образуется позднее и выделяется в форме небольших метакристаллов в метабазалях и более крупных и гигантских на контакте жил. Поздний хлорит, ассоциирующий с карбонатом и, в том числе, с карбонатом с РЗЭ имеет $T=180^{\circ}$. Непосредственно возле рудных прожилков и гнезд кварца с сульфидами меди в песчаниках развиты альбит, микроклин, во внешней их зоне - эпидот, хлорит, в ореоле - серицит. В К-полево шпате иногда повышается концентрация Ba. Эпидот зональный, нескольких генераций. На более высоких уровнях месторождения при увеличении степени окисления среды сформировались окисленные типы руд (борнитовые и борнит-халькозиновые с гематитом). В них встречается куприт.

Кварцито-песчаники и габбро-диабазы секутся жилами: 1 - кварцевыми в песчаниках и 2 - гематит-эпидот-кварцевыми с хлоритовой оторочкой и пластинчатым Ti-гематитом (в габбро).

Сульфидные медные руды месторождения Воронов Бор относятся к гнездово-вкрапленным, вкрапленно-прожилковым с содержанием сульфидов меди 10-40 %. Так как месторождение формировалось в близповерхностных условиях возникла рудная зональность, которая проявилась в смене халькопиритовой минерализации борнит-халькопиритовой и окисленной борнит-халькозиновой. Соответственно, по минеральному составу можно выделить существенно халькопиритовые (1) и борнитовые (2) руды. Включения более редких минералов установлены в обоих типах руд, но в борнитовом типе доминируют минералы благородных и редких металлов, селениды и другие многочисленные включения, в связи с чем этот тип руд можно рассматривать как руды продуктивной стадии.

Валовый минеральный состав руд представлен халькопиритом, борнитом, халькозином, молибденитом (до 1-2 %), встречаются единичные выделения пирита, галенита, очень редко зерна сфалерита. К типоморфным минералам, характерным для данного рудного объекта и установленным при детальном изучении минералогии месторождения, относятся – молибденит, галенит, селениды (Se-галенит, науманнит, клаусталит), акантит, сам. серебро и золото, гессит, гринокит, рениит, кобальтин, барит, куприт (табл. 1, 2), реже единичные зерна соединений Cu-Ag, антимонит, киноварь, висмут. В зоне окисления развиты халькозин, ковеллин, минеральные смеси, гематит, куприт, барит, иногда самородные медь, серебро.

Халькопирит – ведущий рудный минерал, образует гнезда, прожилки, в рудной зональности вытесняется более низкотемпературным борнитом ($\text{Fe}\sim 10\%$, $T_{обр.}<170^{\circ}\text{C}$), халькозином ($\text{Fe}\sim 2.5\%$, $T_{обр.}<103^{\circ}\text{C}$). По ним в зоне окисления развивается сине-фиолетовый ковеллин ($\text{Cu } 77.87, \text{Fe}$ отсут-

стует), гематит и их сложные минеральные смеси. Пирит встречается лишь в единичных мелких зернах в халькопирите. Молибденит образует чешуйки и их гнездовые скопления размером от 1-14 до 40 мкм в халькопирите, борните, куприте и в измененной породе, формирует характерные зональные гнездовые «порфиновые» выделения.

В халькопиритовом типе руд встречаются мелкие (0.8-10 мкм) редкие выделения самородных металлов (серебро, реже висмут), селениды, галенит. В борнитовом типе руд селениды распространены гораздо больше. Среди них наиболее обычными становятся клаусталит, Se-галенит, науманнит. Размер их зерен 1-6 до 10 мкм. Селениды обычно выделяются в краевых частях зерен борнита (каймах) и реже самостоятельно в породе. В борните они образуют эмульсионную вкрапленность, что подчеркивает отложение Se в конце процесса. Краевые участки зерен борнита бывают замещены ковеллином, гематитом. Халькозин более светлого тона (близкий по составу к борниту) бывает обогащен Ag до 1,87 %. Из селенидов более распространен клаусталит (PbSe), с ним в сростании встречаются науманнит (Ag₂Se) и галенит. В науманните иногда встречается изоморфная примесь Te 0.81-2.39 %, в галените обычен Se. Существует изоморфный ряд минералов в системе Ag-Pb-(S-Se-Te). К этим же участкам тяготеет тонкодисперсное и мелкое самородное золото (размер до 10-20 мкм). Золото выделяется близко по времени с селенидами. Оно содержит Ag до 16-17,6 %, примесь Cu (табл. 1). Обогащение растворов в конце процесса Ag и Te приводит к появлению гессита (T_{обр.} < 145°C), самородного серебра и акантита (T < 105°), причем акантит (Ag₂S) выделяется даже в барите, секущем куприт и халькозин.

Таблица 1. Микронзондовые анализы минералов месторождения Воронов Бор (масс. %)

Эл.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
S	13.08	13.15						40.34	32.17	23.98	22.16		14.52		16.72	17.34
Fe																
Cu							3.59					1.09	3.58		13.22	
Mo								59.66								
Pb	86.92	83.89	83.62													
Ag				75.05	74.00	73.32	61.49					16.02	81.50	100	70.05	
Se		2.96	16.38	24.95	26.00	24.28										
Te						2.39	34.92									
Zn									60.14	6.3						0.34
Cd										39.7						
Au												82.88				
Co											29.87					
Ni											3.68					
As											44.29					
Hg																82.32

Примечание: 1 - галенит, 2 - Se-галенит, 3 - клаусталит, 4-5 - науманнит, 6 - Te-содержащий клаусталит, 7 – гессит, 8 – молибденит, 9 – сфалерит, 10 – гринокит, 11 – кобальтин, 12 – сам. золото, 13 – акантит, 14 – серебро, 15 – промежуточный состав маккинстриит-акантит (?), 16 – киноварь. Микронзондовые анализы выполнены на микроанализаторе с приставкой фирмы Tescan в ИГ Кар НЦРАН. (Из коллекции Л.В. Кулешевич и О.Б. Лаврова).

В связи с практически полным отсутствием в рудах сфалерита и пирита, Cd «предпочитает» связываться в гринокит, содержащий примесь Zn - 6.3 %, а Co входит исключительно в кобальтин. Остальные минералы (HgS, Sb₂S₃, Ag-Cu-S) представляют собой чрезвычайно редкие и единичные выделения.

Необычной находкой оказался рениит (ReS₂) с примесями Os, Cu, Fe (табл. 2), впервые установленный авторами в нескольких типах руд в Карелии. Медистый рениит был обнаружен в виде включений в борните, реже вблизи зерен борнита в кварце. Он образует шести-, четырехгранные, ромбические и треугольные кристаллы и их сростки размером 3-5 мкм. Их внешний вид позволяет предполагать, что минерал имеет триклинную сингонию. Рентгеновских исследований из-за малого размера зерен проведено не было. В составе рениита кроме Re (56.53-60.25 %) присутствуют Os до 3.68 %, Cu (7.59-10.99), Fe. Более высокие концентрации Fe и Cu (табл. 2, ан. 8), вероятно, захвачены при анализе из окружающей матрицы, в связи с малым размером зерна.

МИНЕРАГЕНИЯ ДОКЕМБРИЯ

Таблица 2. Химический состав Cu-Os рениита (мас. %) месторождения Воронов Бор

№ пп	1	2	3	4	5	6	7	8
S (%)	28.95	28.26	28.91	29.71	29.46	29.42	29.62	26.89
Fe	-	1.20	1.25	0.91	1.09	1.10	1.14	4.18
Cu	7.59	10.99	9.06	9.23	9.5	9.51	10.42	22.35
Re	60.25	55.87	58.26	58.63	58.31	58.24	56.53	44.69
Os	3.2	3.68	2.52	1.52	1.64	1.72	2.29	1.89
Сумма	99.99	100	100	100	100	100	100	100
Формульные единицы								
S	1.99	1.90	1.94	1.97	1.96	1.95	1.95	
Fe	0	0.05	0.05	0.03	0.04	0.04	0.04	
Cu	0.26	0.37	0.31	0.31	0.32	0.32	0.35	
Re	0.71	0.65	0.07	0.67	0.67	0.67	0.64	
Os	0.04	0.04	0.03	0.02	0.02	0.02	0.03	
СуммаК	1.01	1.10	1.06	1.03	1.04	1.05	1.05	
№ обр. и уч.	VB-4 14	VB-4 15	VB-4 16	VB-4а 1	VB-4а 2	VB-4а 3	VB-4b 7	VB-4 2

Примечание. 1-8 – Воронов Бор (из коллекции О.Б. Лаврова). Сумма приведена к 100 %. Состав изучался с помощью сканирующего электронного микроскопа VEGA II LSH с микроанализатором INCA Energy 350. Ан. 8 – с примесью борнита.

В зонах окисления в рудах развиты куприт и каймы вокруг сульфидов, в крайних зонах которых находятся Cu-Fe оксиды, гематит с примесями Cu, во внешней зоне – сложные минеральные смеси с Al, Si, Ca, поверхностные налеты малахита, азурита, англезита. На поздних стадиях, в просечках, секущих даже Cu-содержащие гематитовые каймы и куприт выделяется барит, ксенотим, акантит, серебро. Вокруг зерен серебра, на контакте с борнитом встречается куприт и тонкие приросшие пленочные и неопределенной формы выделения уранинита. Барит образует самостоятельные зерна, сечет куприт, содержит включения акантита. То есть, с увеличением кислородного потенциала (при дефиците серы) образуются сульфаты, оксиды, минералы серебра (акантит и серебро) и U-минералы.

В заключение можно отметить следующее:

1. Дорудные изменения, сопровождающие медную минерализацию месторождения Воронов Бор имели щелочной характер, они сопровождались образованием в кварцито-песчаниках эпидота, сфена, микроклина, альбита, слюды, турмалина, хлорита, карбоната. Альбит, микроклин, эпидот встречаются также в зальбандах сульфидно-кварцевых прожилков. Именно щелочной процесс привел к широкой миграции элементов. Источником вещества для руд участка Воронов Бор могли служить прорабатываемые вмещающие толщи, в частности, ятулийские базальты и габбро, обогащенные Ti. Однако гораздо более высокие концентрации Ti (до 4.16 %), P (до 1.58 %), P3Э, Zr, Ba, установленные в измененных гравелитах и песчаниках, появление K, Li, Rb, Ba, Sr в базальтах, а также Se, Mo, Pb, Te, Bi, Ag, Au, Th, U - в рудах и ореолах, свидетельствуют о дополнительном привносе вещества из магматических источников повышенной щелочности.

2. Золото накапливается в борнитовом типе руд и кварцевых жилах (это требует внимательной картировки рудной зональности и жил). Высокие концентрации Ag в золоте и его отложение сначала совместно с селенидами в борнитовых рудах, а затем в окисленных ассоциациях, указывают на низкотемпературный характер процесса и, в целом, на снижение концентрации серы и возрастание селена. Возрастание потенциала кислорода сопровождалось появлением парагенезиса самородного серебра, акантита с баритом.

3. В борнитовых рудах обнаружен новый для Карелии Re-минерал - медистый рениит, содержащий изоморфные примеси Cu, Os, Fe.

4. Трудообр. снижалась от 260°C до 100°C (до- и околорудные метасоматиты и руды) и ниже в зоне окисления. Оруденение можно отнести к эпитермальному, близповерхностному. Все редкие и благородные элементы накапливались в конце процесса рудообразования. Температура отложения золота в борнитовом типе руд, очевидно, не превышала 170°C.

5. Месторождение Воронов Бор и подобные ему палеопротерозойские медные проявления (месторождения) Карелии могут быть отнесены к комплексным объектам, наиболее перспективным на Ag, Au, Mo и более редкие и дорогостоящие элементы, такие как Re, Os.

Работа выполнена по гранту РФФИ-08-05-98815-р-север-а и по Программе фундаментальных исследований ОНЗ РАН № 2.3 «Эволюция литосферы, металлогенические провинции, эпохи и рудные месторождения: от генетических моделей к прогнозу минеральных ресурсов», проекту «Золоторудные системы...: геодинамические обстановки, возрасты, минералого-геохимическая типизация».

Литература

1. Минерально-сырьевая база Республики Карелия. Петрозаводск. «Карелия». 2005. 278 с.

Источники рудного вещества в докембрии (проблемы их эволюции)

Ланда Э.А

ВСЕГЕИ, г. Санкт-Петербург, e-mail: linear@pochta.ru

Мантйные и коровые источники рудного вещества проявляются уже на самых ранних геологических этапах. Для архея в частности характерен источник коматиитового (базальт-коматиитового) вулканизма, с которым связан ряд Cu-Ni-ЭПГ месторождений (Камбалда, Аллареченские на Кольском п-ове). Изотопные параметры коматиитов зеленокаменных поясов (в том числе Карело-Кольского региона) свидетельствуют о модельно истощенном исходном его составе. В то же время элементный состав пород (соотношения Zr, Nb, Y и р.з.э.) оказывается весьма близким составу примитивной мантии – РМ, по [1]. Эти особенности указывают на перманентное уже в раннем докембрии воздействие подлитосферного, вероятнее всего плюмового по своей природе вещества, на деплетированную мантию, ведущее к реставрации ее первичного элементного состава и возможно на особенности процессов, связанных с рудообразованием. С другого типа преобразованием РМ связано появление на рубеже 2,1 млрд. лет еще одного источника. На его наличие указывают в частности особенности ферропикритов Печенгской структуры Кольского п-ва и суйсарских пикритов Карелии. Их состав отличают высокие для ультрамафитов содержания литофильных элементов, в особенности титана и ниобия. По соотношению Zr, Nb, Y их источник близок таковому ОІВ, по [1] Изотопные его параметры в ряде случаев (судя по суйсарскому комплексу) близки резервуару НІМУ, который согласно гипотезе С.Харта [3] мог появиться и функционировать вместе с возможно комплементарным ему ЕМ 1 в результате рециклинга или иных процессах (возможно плюмовых) в пределах субконтинентальной литосферной мантии. Обогащенность такой мантии литофильными элементами могла сочетаться с изотопной истощенностью, но вероятны и соотношения иного рода. Источник, судя по всему не был гомогенен, что определяло разнотипность генерируемых рудных концентраций. С его особо богатой титаном частью связаны некоторые титаномагнетитовые месторождения (например, Пудожгорское в Карелии).

В докембрии появляется также источник типа EN, по [1] и близкие ему источники, особо насыщенные ниобием и цирконием. Их образование обусловлено поступлением в мантию корового вещества и возможно метасомагматическими процессами в самой мантии. С ними связано образование лампроитов, лампрофиров, кимберлитов, в том числе алмазоносных Протерозойские кимберлиты, например, дали около 25% всей добычи алмазов. Таким образом, в докембрии функционировали практически все мантйные источники рудного вещества.

Можно говорить о двух типах эволюции источников. Эволюция их во времени заключалась в том, что, появившись в докембрии, они продолжали генерировали рудное вещество и в фанерозое. Так, с источником типа РМ связаны Cu-Ni-ЭПГ месторождений Норильского региона. С источником, близким ОІВ - месторождения титаномагнетита, апатита, редких металлов в щелочно-ультраосновных комплексах, С EN - месторождения алмазов в кимберлитах и лампроитах.

В то же время эволюционное развитие источников приводило к появлению некоторых их собностей. Так, в фанерозое проявляет себя источник типа DM, с ним в частности связаны платиноносные зонально-концентрические массивы урало-аляскинского типа. Он же, а не РМ как в докембрии,