

ХАРАКТЕРИСТИКА МЕДНО-НИКЕЛЕВОЙ МИНЕРАЛИЗАЦИИ МЕТАГАББРОИДОВ (СЕВЕРНЫЙ ТИМАН)

Шмакова А. М.

Институт геологии Коми НЦ УрО РАН, Сыктывкар

На территории Северного Тимана в 1971–1977 гг. проводилась геологическая съемка масштаба 1:50 000 с общими поисками алмазов под руководством В. Ф. Чертова (Чайкинская ГПП). В результате этих работ было выявлено сульфидное медно-никелевое с платиноидами оруденение в метагабброидах Бугровской зоны разломов. В последующем на Бугровской площади проводились поисковые (С. М. Пашкевич, 1978–82 гг.; П. В. Лесков, 1989–93 гг.) и поисково-ревизионные (А. П. Свиридов, 2004–2005 гг.; Н. А. Иванов, 2006–2007 гг., незавершенные) работы. На выявленных рудопоявлениях были оценены прогнозные ресурсы меди и никеля. На проявлении «Ближнее» прогнозные ресурсы никеля по категории P_1 составляют 3700 т, на рудопоявлении «Дальнее» прогнозные ресурсы никеля по категории P_1 – 7500 т, медь – 2000 т, платины и палладия в сумме – 300 кг. По категории P_2 ресурсы проявления «Дальнее» составляют: никель – 65 тыс. т, медь – 10 тыс. т, палладий – 5.5 т, кобальт – около 850 т [1]. Бугровская площадь является перспективной для доизучения и последующей разработки медно-никелевых месторож-

дений. Цель работы состояла в сравнительном анализе петрографических и минералогических особенностей медно-никелевых руд проявлений Бугровской площади, оценке их технологических свойств и возможных методов их обогащения.

Бугровская площадь включает в себя два проявления («Ближнее», «Дальнее»), один пункт минерализации («Каменное») и проявление платины «Олень». Породы Бугровской площади относятся к барминско-черноречскому гипабиссальному метагаббро-долеритовому комплексу верхнего рифея ($v\beta RF_2bc$) [1].

Рудовмещающие породы проявления «Ближнее» и «Дальнее» представлены метагабброидами, залегающими среди образований малочерноречской свиты верхнего рифея. Метагабброиды проявления «Ближнее», вмещающие сульфидную минерализацию, образуют тело неправильной линзовидной формы, мощностью от 20 до 70 м. В его строении выделяются три зоны: центральная – ксенолитовая (брекчиевидная), промежуточная (средняя) – миндалекаменная и краевая – массивная. Состав пород варьирует от меланогаббро до анортозитов [1].

Нами был исследован керн скважины (скв. 758) из краевой части тела метабазитов проявления «Ближнее». По петрохимическим характеристикам породы данного проявления относятся к базальтовой низкощелочной серии ($K_2O = 0.83\%$, $Na_2O = 2.36\%$). Метагабброиды имеют массивную текстуру и гипидиоморфную среднезернистую структуру, обусловленную пороодообразующими минералами с размерностью от 0.5 до 3.0 мм. Плагноклаз по химическому составу соответствует альбиту. Пироксен представлен авгитом ($xMg\ 0.66\text{--}0.82$). Из вторичных минералов установлены хлорит, кварц, титанит, рутил, кальцит, из аксессуарных – апатит. Предыдущими исследователями на данном рудопроявлении были выявлены сульфиды: бравоит, виоларит, марказит, сфалерит, галенит, кобальтин [1].

В метабазитах отмечается мелкая гнездо-во-вкрапленная пентландит-халькопирит-пиритовая минерализация. Гнезда представлены срастаниями аллотриоморфных зерен пирита, халькопирита и пентландита. Данная парагенетическая ассоциация характерна для сульфидных руд, генетически связанных с основными и ультраосновными породами.

Пирит данного рудопроявления имеет аллотриоморфную форму выделений размером до 1.5 мм. В химическом составе постоянно присутствует примесь Ni до 3 мас. %.

Халькопирит чаще всего наблюдается в виде аллотриоморфных зерен до 0.5 мм развивающихся по краям пирита. Оба минерала не подвержены вторичным изменениям.

Пентландит представлен сильно трещиноватыми аллотриоморфными зернами размером до 0.6 мм. Часто наблюдается регенерационная кайма между пентландитом и другими сульфидными (рис. 1, а). Зерна пентландита неоднородные, отмечаются более светлые и темные участки (рис. 1, б). Химический состав светлых участков наиболее приближен к теоретическому составу пентландита, но с большим содержанием Ni (табл. 1). Более темный и неоднородный пентландит имеет в своем составе значительно меньше Ni и по химическому составу наиболее приближен к железистому виолариту ($Fe_{1.55}Ni_{1.47}Co_{0.08})_{3.10}S_4$ (табл.). В целом, пентландит рудопроявления «Ближнее» является маложелезистым. В некоторых зернах пентландита установлены типичные примеси кобальта от 1.31 до 1.8 мас. % (табл.). В одном

зерне пирита установлен пентландит со структурой распада в виде пламевидных выделений с ламелями бравоита (рис. 1, в) (табл.). Так как распад твердого раствора в пирите почти никогда не наблюдается [2], вероятнее всего, обнаруженный бравоит развивался по пентландиту, кристаллизовавшемуся по трещинам в пирите.

Пентландит данного рудопроявления сильно трещиноватый, в то время как пирит и халькопирит представлены цельными зернами без трещин (рис. 1, а, г). Это может указывать на разное время кристаллизации сульфидов. Вероятнее всего трещиноватость пентландита связана с гидротермально-метасоматическими процессами, в результате которых происходил вынос Ni и сопутствующее ему разрыхление минерала. Данные процессы можно наблюдать на зернах реликтового первичного пентландита (рис. 1, б).

Границы зерен между сульфидами довольно четкие, ровные. В целом включений в сульфидах немного. В пирите наблюдаются включения хлорита, титанита, кальцита размером до 50 мкм. В халькопирите установлены редкие включения барита размером до 10 мкм. В ассоциации с сульфидами, как правило, отмечается развитие хлорита, титанита, альбита, кварца и кальцита (рис. 1, г).

Размер пентландит-халькопирит-пиритовых вкрапленников медно-никелевой минерализации варьирует от 0.2 до 2.5 мм. По классификации минеральных выделений по размерам данные выделения относятся к «мелким» агрегатам [3]. Такая размерность и наличие четких границ между минералами позволяет использовать при обогащении руды следующие методы: флотация, концентрация на столах, мокрая магнитная сепарация, перколяционное или агитационное выщелачивание [3]. В сульфидах рудопроявления «Ближнее» наблюдаются редкие включения нерудных минералов, таких как рутил, хлорит, кальцит и барит. Поскольку включения встречаются не часто, их влияние на дальнейшее обогащение сводится к минимуму. Развивающиеся по краям рудных минералов хлорит, титанит и альбит имеют четкие границы, что также не окажет существенного влияния на переработку руды.

На рудопроявлении «Ближнее» предшественниками были установлены повышенные содержания благородных металлов (г/т): Pt – 0.002–0.025 (среднее 0.01); Pd – 0.005–0.675 (среднее 0.14); Au – 0.003–0.061 (среднее 0.02) [1].

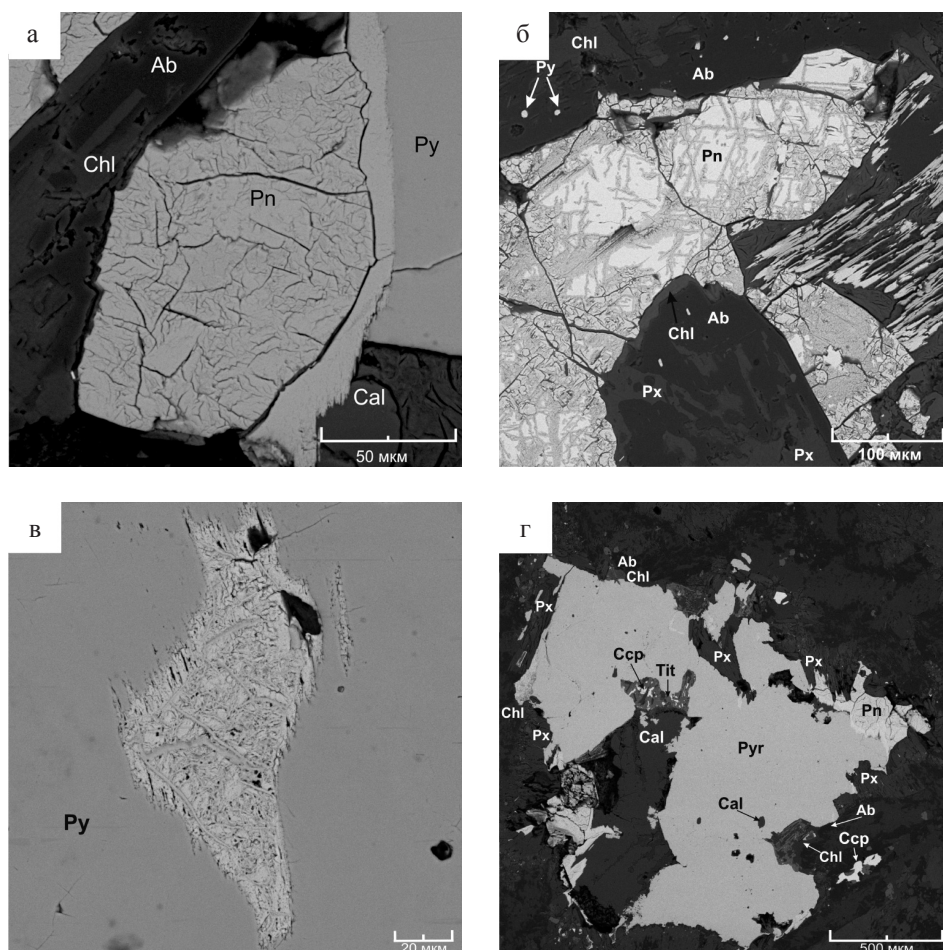


Рис. 1. Сульфидная минерализация проявления «Ближнее» (скв. 758): а – пентландит с регенерационной каемкой, б – реликтовый первичный пентландит с участками выноса Ni, в-пентландит в пирите со структурой распада в виде пламевидных выделений, г – сростание пирита и пентландита. Изображение в обратно-рассеянных электронах: Pn – пентландит, Py – пирит, Ccp – халькопирит, Chl – хлорит, Tit – титанит, Ab – альбит, Cal – кальцит, Px – пироксен

Таблица

Химический состав сульфидов рудопроявлений «Ближнее» и «Дальнее» (мас. %)

Минерал	Fe	S	Ni	Co	As	Cu	Сумма
Рудопроявление «Ближнее»							
Ni-пентландит (первичный)	27.33	33.97	36.99	1.49	–	–	99.78
Пентландит (структура распада)	23.88	43.63	31.73	–	–	–	99.24
Пентландит (кайма)	24.72	42.98	30.09	1.35	–	–	99.13
Пентландит (трещиноватый)	25.00	43.02	29.79	1.31	–	–	99.13
Бравойт (структура распада)	37.21	50.54	10.26	–	–	–	98.01
Виалорит	27.53	39.64	26.56	0.71	–	–	94.45
Пирит	43.17	54.36	3.83	–	–	–	101.36
Пирит	43.65	52.70	2.06	–	–	–	98.41
Пирит	45.06	53.08	1.56	–	–	–	100.42
Халькопирит	30.35	35.78	–	–	–	33.18	99.31
Халькопирит	30.87	35.71	–	–	–	33.57	100.15
Халькопирит	29.80	35.87	–	–	–	32.95	98.62

Минерал	Fe	S	Ni	Co	As	Cu	Сумма
Рудопроявление «Дальнее»							
Ni-пентландит (первичный)	26.86	33.09	36.71	1.40	—	—	98.07
Пентландит (трещиноватый)	29.16	33.01	33.38	0.41	—	—	95.95
Пентландит (структура распада)	28.32	34.45	31.87	1.05	—	—	95.69
Виоларит (структура распада)	26.76	39.91	26.34	3.72	—	—	96.72
Виоларит (трещиноватый)	26.16	40.36	25.18	4.11	—	—	95.82
Пирротин	59.27	39.55	1.02	—	—	—	99.84
Пирротин	59.12	39.39	0.79	—	—	—	99.30
Пирротин	59.17	39.47	0.81	—	—	—	99.45
Халькопирит	30.35	34.40	—	—	—	33.45	92.20
Халькопирит	30.59	34.20	—	—	—	33.15	97.94
Халькопирит	30.46	34.68	—	—	—	33.55	98.69
Герсдорфит	5.55	19.45	10.72	18.83	45.90	—	100.45
Герсдорфит	5.68	19.21	9.46	20.50	45.19	—	100.04

Анализы выполнены в ЦКП «Геонаука» на сканирующем микроскопе Tescan Vega 3 LMN с энергодисперсионным спектрометром X-Max. Аналитики: Е. А. Тропников, А. С. Шуйский.

Рудопроявление «Дальнее» приурочено к интрузии метагабброидов мощностью от 20 до 55–60 м, которая имеет линзовидную дайкообразную форму и сложена метагабброидами и метаанортозитами с ксенолитами серицитолитов. В ней выделяются две зоны: краевая – массивная и центральная (брекчиевидная). В метабазах краевой зоны присутствует минерализация вкрапленного типа, с редкими гнездовыми выделениями. В центральной (ксенолитовой) зоне распространена гнездово-вкрапленная и шлировидная сульфидная минерализация. Предшественными исследователями была установлена повышенная платиноносность (с резким преобладанием палладия) в данных медно-никелевых рудах [1].

Нами исследованы образцы керна скв. 767 рудопроявления «Дальнее». В интрузии габброидов установлены лейкократовые породы, диагностируемые как метаанортозиты [1]. Данные породы обладают массивной текстурой и гранофировой структурой, обусловленной микропегматитовыми вросками кварца в полево шпате. Породы сложены в основном альбитом в количестве 70 %, образующим лейсты размером от 0.25 до 1.25 мм. Также присутствует плагиоклаз, по химическому составу соответствующий лабрадору (An_{53}) и андезину (An_{39-50}). Пироксен представлен авгитом (xMg 0.61–0.70). Из вторичных минералов установлены эпидот, алланит, титанит, хлорит, кальцит. По данным предшественников также были установлены сфалерит, пирит и марказит, заме-

щающие пирротин, и виоларит, развивающийся по пентландиту [1].

В метабазах рудопроявления «Дальнее» наблюдается мелкая гнездово-вкрапленная пентландит-халькопирит-пирротиновая минерализация. Гнезда состоят из сростаний аллотриоморфных зерен пентландита, халькопирита и пирротина.

Пирротин представлен аллотриоморфными зернами размером до 4 мм. В химическом составе часто присутствует примесь Ni до 1.02 мас. %.

Халькопирит чаще всего развивается совместно с пирротинном. Обладает аллотриоморфной формой зерен размером до 1 мм.

Пентландит развивается как по трещинам в пирротине, так и по его краям (рис. 2 а, б). Его можно разделить на два типа. Первый тип представлен неизменными цельными аллотриоморфными выделениями (рис. 2 а, б). Второй тип сильно трещиноватый, он похож на пентландит рудопроявления «Ближнее» (рис. 2 в). Более светлые части трещиноватого пентландита второго типа по химизму схожи с составом типичного пентландита, в то время как более темные части имеют в составе значительно меньше содержание Ni. По химическому составу темные части пентландита соответствуют железисто-му виолариту. Неизменный пентландит первого типа содержит более высокое количество Ni, по сравнению с обычным пентландитом. Регенерационная кайма у всех пентландитов отсутствует, однако у трещиноватых пентландитов, развивающихся по краям пирротина, наблюдается зона Co-Ni-пирротина.

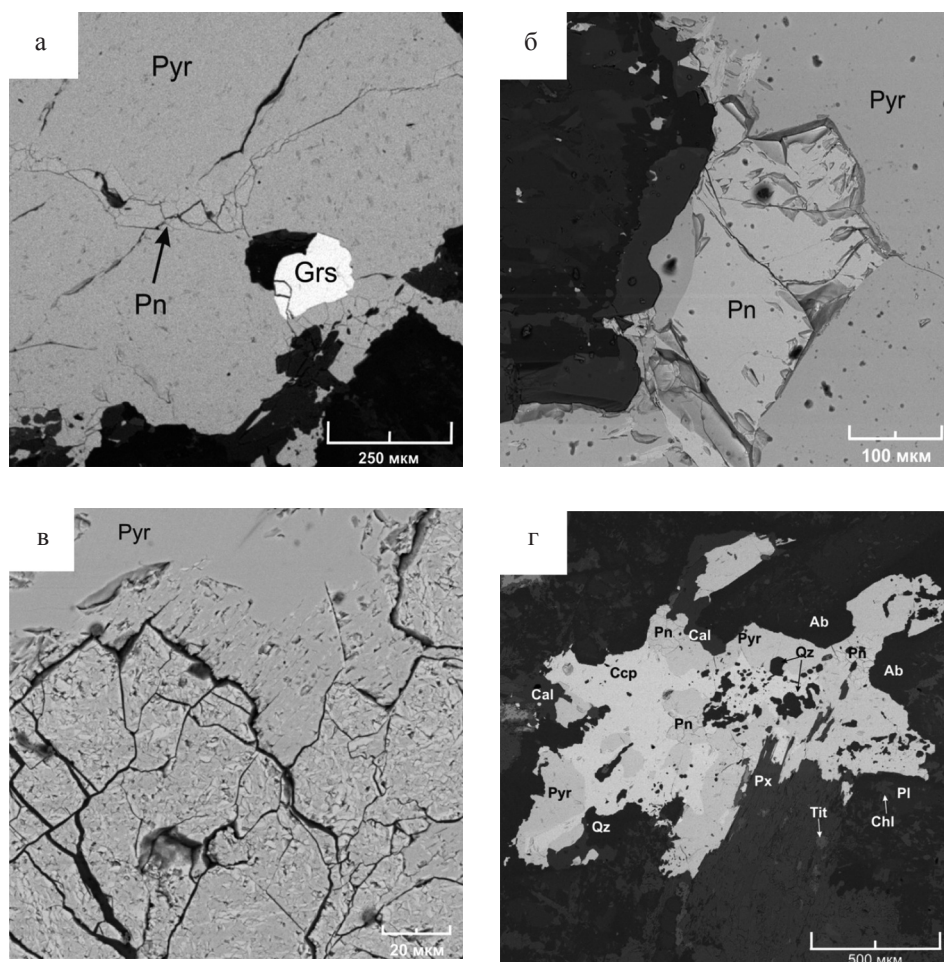


Рис. 2. Сульфидная минерализация проявления «Дальнее» (скв. 767): а – пентландит развивающийся по трещине в пирротине, б – неизменный пентландит, в-пентландит с участками выноса Ni, г – срастание пирротина, халькопирита и пентландита. Изображение в обратно-рассеянных электронах: Pn – пентландит, Pyr – пирротин, Ccp – халькопирит, Chl – хлорит, Px – пироксен, Cal – кальцит, Qz – кварц, Ab – альбит, Tit – титанит

Помимо сульфидов на рудопроявлении «Дальнее», установлена мелкая вкрапленность, представленная аллотриоморфным ильменитом с каемкой титанита. Содержание диоксида титана в ильмените $\text{TiO}_2 = 53\text{--}54$ мас. % и $\text{Fe}_2\text{O}_3 = 43\text{--}44$ мас. %, $\text{MnO} = 2.32\text{--}2.55$ мас. %, его минимальные соотношения ильменит (71–95), гейкелит (0–14), пирофанит (5), гематит (0–10).

На данном рудопроявлении установлены трещиноватые пентландит и железистый виоларит, как и на рудопроявлении «Ближнее». Однако на рудопроявлении «Дальнее» образование виоларита более распространено, что свидетельствует о более интенсивном проявлении гидротермально-метасоматических процессов.

В сульфидах рудопроявления «Дальнее» наблюдается большое количество включений нерудных минералов. В пирротине отмечаются включения ильменита, алланита, эпидота, кальцита, альбита, пироксена и барита (рис. 2, г).

Иногда отмечается Fe-Co-герсдорфит, типичный гидротермальный минерал (рис. 2, а; табл.). В ассоциации с сульфидами, как правило, отмечается развитие альбита и пироксена. По краям сульфидов периодически наблюдаются кальцит, кварц, титанит, хлорит, эпидот (рис. 2, г). В некоторых зернах наблюдаются тесные прорастания с нерудными минералами.

Вкрапленники пентландит-халькопирит-пирротиновой минерализации рудопроявления «Дальнее» имеют размер от 1 мм до 6 мм, в редких случаях до 1 см. По классификации минеральных выделений по размеру данные выделения относятся к «крупным» агрегатам [3]. Некоторые халькопирит-пирротиновые срастания имеют значительное количество включений кварца, что может осложнить обогащение руд. Породообразующие и вторичные минералы, тесно прорастающие с некоторыми сульфидами, также усложняют дальнейшее обогащение руды.

Для данного рудопроявления могут подойти следующие методы обогащения: флотация, гравитационное обогащение, возможны сухая и мокрая магнитная сепарация, перколяционное выщелачивание.

Таким образом, на рассматриваемых рудопоявлениях устанавливаются разные ассоциации минералов. Для проявления «Ближнее» характерна пентландит-халькопирит-пиритовая минеральная ассоциация. Рудные минералы данного проявления имеют четкие границы и небольшое количество включений. Породообразующие минералы, представленные альбитизированным плагиоклазом и пироксеном, а также вторичные минералы хлорит, кварц, амфибол, титанит, рутил не имеют тесного прорастания с сульфидами. Полученные сведения позволяют спрогнозировать методы обогащения данных пород. На прояв-

лении «Дальнее» наблюдается пентландит-халькопирит-пирротиновая минеральная ассоциация. Сульфиды содержат значительное количество включений, и имеют тесное прорастание с плагиоклазом, пироксеном, кварцем и хлоритом, что значительно усложняет дальнейшее обогащение руды. Для каждого рудопоявления установлено в разной степени выраженное влияние гидротермально-метасоматических процессов на пентландит. Данные процессы обуславливают значительное распространение в пределах рудопоявлений виоларита.

Статья подготовлена при финансовой поддержке Комплексной программы УрО РАН (проект № 18-9-5-42 «Ресурсно-индустриальная и инфраструктурная трансформация как фактор развития Воркутинской опорной зоны Российской Арктики»).

ЛИТЕРАТУРА

1. Пармузин Н. М., Мазуркевич К. Н., Семенова Л. Р., Коссовая О. Л. и др. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1:1-000-000 (третье поколение). Серия Мезенская. Лист Q-39 – Нарьян-Мар. Объяснительная записка. СПб.: Картографическая фабрика ВСЕГЕИ, 2015. 393 с. + 32 вкл.
2. Рамдор П. Рудные минералы и их сростания // Издательство иностранной литературы. Москва, 1962. 1134 стр.
3. Юшко С. А. Методы лабораторного исследования руд. Изд. 4-е. М.: Недра, 1971. 344 с.