

## ОСОБЕННОСТИ МИНЕРАЛОГИИ РУД МИХЕЕВСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ, НОВОНИКОЛАЕВСКОГО И ЗАПАДНОГО УЧАСТКОВ (ЮЖНЫЙ УРАЛ)

Горбунов А.А.<sup>1</sup>, Аликин О.В.<sup>1</sup>, Захарова А.А.<sup>1</sup>, Гусева Т.А.<sup>1</sup>, Рудашевский В.Н.<sup>1</sup>, Гемель В.А.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>ООО «ЦНТ Инструментс», Санкт-Петербург, [cnt.labor@gmail.com](mailto:cnt.labor@gmail.com)

<sup>2</sup>АО «Михеевский горно-обогатительный комбинат», Варна, [gemel\\_vjacheslav@mgok.rcc-group.ru](mailto:gemel_vjacheslav@mgok.rcc-group.ru)

Михеевское медно-порфировое месторождение и рудопоявления Новониколаевское и Западное расположены в Челябинской области. Они приурочены к Тарутинско-Новониколаевской металлогенической зоне, отвечающей крупному сиалическому блоку с максимальным количеством рифтогенных грабен-синклинальных структур и выступов фундамента. Данные структуры являются вмещающими для Михеевского комплекса габбро-диорит-плаггиогранодиорит-адамеллитовой формации, продуктивной на медно-порфировые руды. Становление интрузивов (С1) происходило на завершающем этапе формирования Катенинского вулcano-плутонического пояса (D3-С1) и связано с проявлением базальтоидного магматизма островодужного типа [3].

Рудные тела залегают в пропилитах по вулканитам и частично в дайках диоритовых порфиритов [10, 2]. Руды прожилково-вкрапленные и массивные. Преобладающие сульфиды – пирит и халькопирит. В подчиненных количествах присутствуют арсенопирит, галенит, сфалерит, блеклые руды, борнит, пирротин и кобальтин. На Михеевском месторождении встречаются кварцевые прожилки с молибденитом [2].

Руды делятся на три технологических типа: 1) первичный сульфидный (94 % от общего количества руды); 2) рыхлые смешанные и 3) окисленные руды (примерно по 3 %) [1].

С помощью 3D-технологии минералого-геохимического анализа (3D-технологии) [11, 9] были исследованы пять проб медно-порфировых руд (табл. 1), представляющих два технологических типа – первичный сульфидный и тип окисленных руд. Метод гидросепарации [6, 7, 8], лежащий в основе 3D-технологии, позволяет разделять частицы по их удельной плотности. Данный метод эффективно используется для получения технологических продуктов из исследуемых объектов, отличающихся невысокой концентрацией полезного компонента [5], в данном случае – Cu и Au.

Табл. 1. Реестр проб

№ пробы	Наименование	Тип пробы	Тип руды	Участок	Масса пробы, г
1	НТ-1	Первичная руда	Первичный сульфидный	Новониколаевский	910.3
2	НТ-2	«Переходная» руда	Окисленные руды	Новониколаевский	807.5
3	ЗТ-3	Первичная руда	Первичный сульфидный	Западный	951.3
4	ЗТ-4	«Переходная» руда	Окисленные руды	Западный	708.1
5	МТ-5	Первичная руда	Первичный сульфидный	Михеевское м-е	842.4

В результате проведенных исследований выявлено, что продукты сложены фактически одним набором минеральных видов в различных их соотношениях. Главным сульфидом во всех изученных пробах является пирит. Нерудные минералы представлены

кварцем, иногда Fe-Са-карбонатами, реже встречаются глинисто-сланцевые минералы и хлориты.

В пробах первичных руд (МТ-5, НТ-1, ЗТ-3) основными минералами меди являются халькопирит, халькозин, блеклые руды и борнит. Халькопирит представлен свободными зернами. Он также образует сростания с пиритом. Халькозин заполняет тонкие трещины в пирите и халькопирите, а также образует каймы вокруг них. Борнит отмечен никак в виде сростков с халькопиритом, так и в виде свободных зерен. Блеклые руды представлены свободными зернами и сростками с пиритом и халькопиритом (рис. 1).

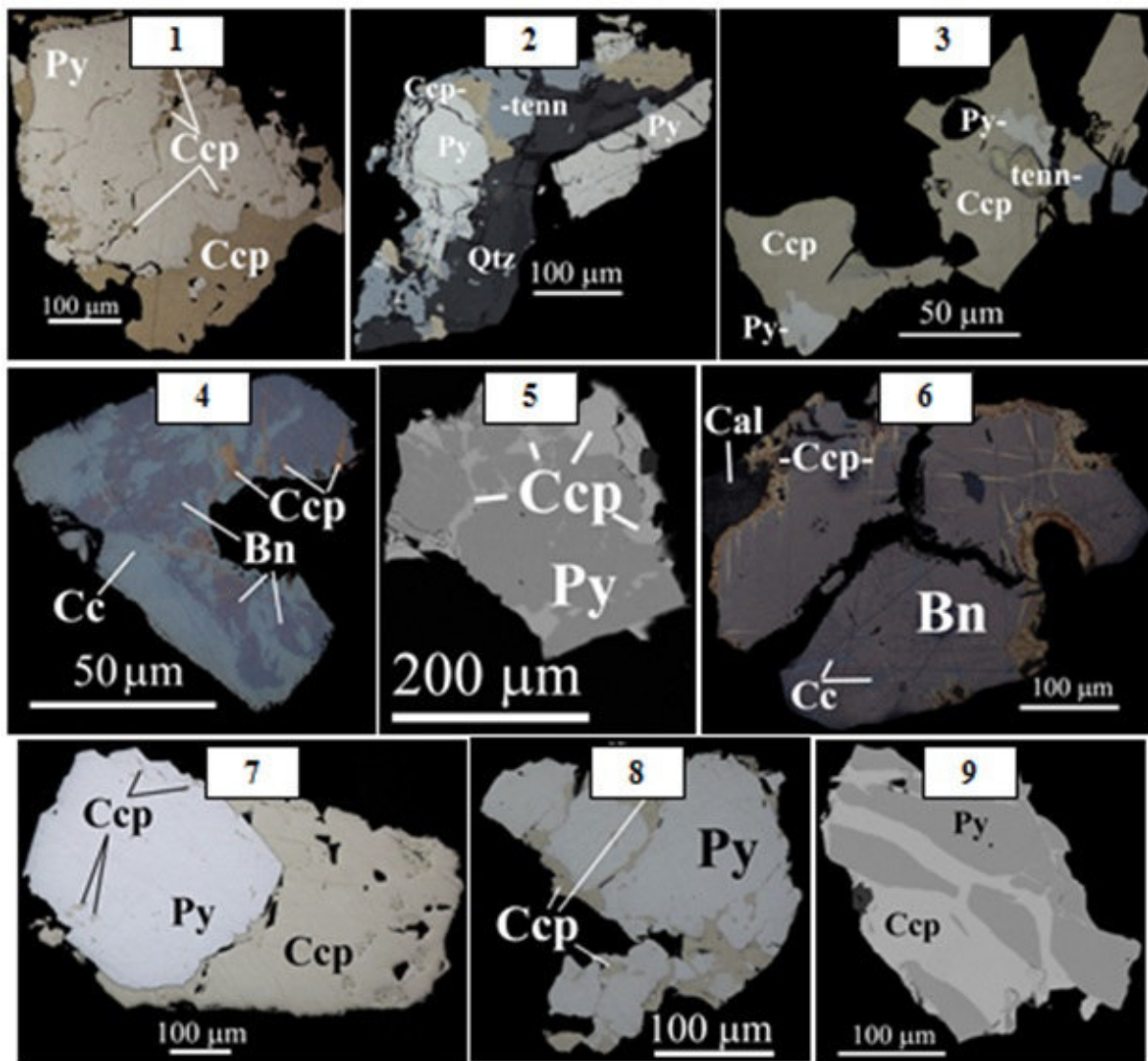


Рис. 1. Оптические и BSE-фотографии зерен главных сульфидов и их характерных минеральных ассоциаций из HS-концентратов (пр.МТ-5, НТ-1, ЗТ-3) различных фракций; стереомикроскоп MZ6, камера LeicaDC300, ВСЕГЕИ, Санкт-Петербург; Camscan-2500, спектрометр Pentafet, ВСЕГЕИ, Санкт-Петербург. Примечание: Py - пирит, Ccp - халькопирит, Cc - халькозин, Bn - борнит, tenn - теннантит, Qtz - кварц. Для пробы ЗТ-3 изображения 1-3, для пробы НТ-1 изображения 4-6, для пробы МТ-5 изображения 7-9.

В пробах «переходных» руд (НТ-2, ЗТ-4) установлены те же минералы меди, что и в первичных, но в других соотношениях. Преобладающим минералом является халькозин, который замещает халькопирит и образует каймы вокруг пирита (от первых % до практически полного замещения халькозином). В этих рудах также отмечается заметное количество арсенопирита. Борнит встречается в виде включений в халькозине и халькопирите (рис. 2).

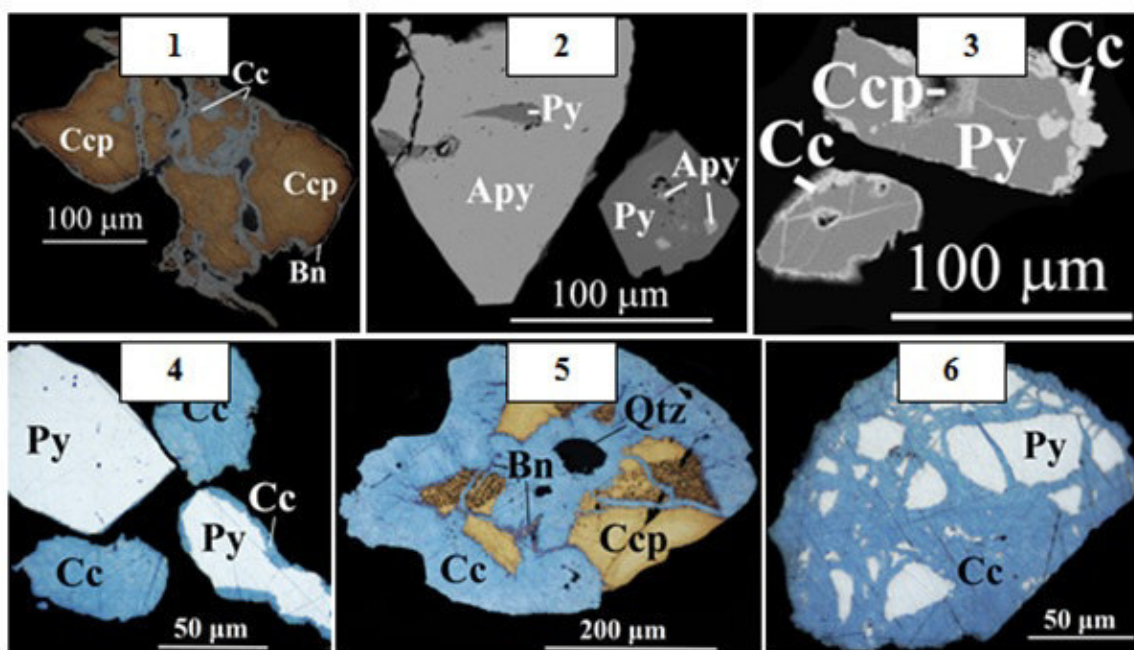


Рис. 2. Оптические и BSE-фотографии зерен главных сульфидов и их характерных минеральных ассоциаций из HS-концентратов (пр. ЗТ-4, НТ-2) различных фракций; стереомикроскоп MZ6, камера LeicaDC 300, ВСЕГЕИ, Санкт-Петербург; Camscan-2500, спектрометр Pentafet, ВСЕГЕИ, Санкт-Петербург. Примечание: Py - пирит, Ccp - халькопирит, Cc - халькозин, Bn - борнит, Apy - арсенопирит, Qtz - кварц. Для пробы ЗТ-4 изображения 1-3, для пробы НТ-2 изображения 4-6.

Литературные данные о золотой минерализации рассматриваемых участков ограничены. В одной из работ [4] автор выделяет четыре ассоциации минералов благородных металлов для Михеевского месторождения. Благодаря применению 3D-технологии нами были обнаружены единичные зерна самородного золота и Ag-обогащенного твердого раствора состава электрум-самородное серебро (рис. 3, проба МТ-5) в составе концентратов гидросепарации.

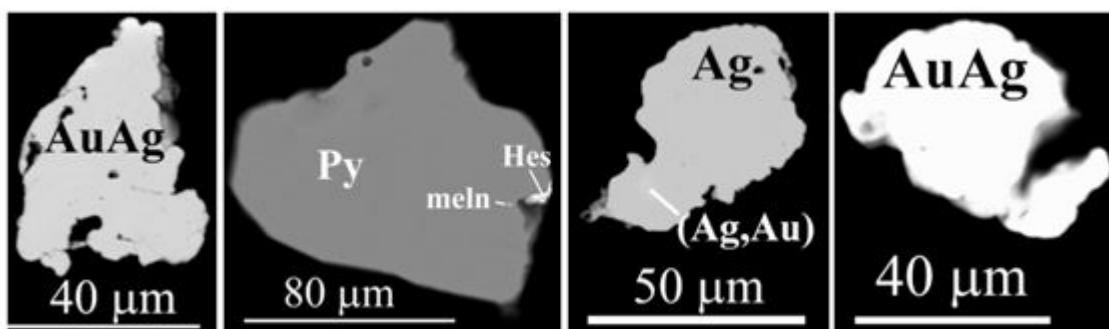


Рис. 3. Зерна самородного золота, электрума, самородного серебра и пирита в HS-концентратах различных фракций (пр. МТ-5); BSE-фотографии, Camscan-2500, спектрометр Pentafet, ВСЕГЕИ, Санкт-Петербург. Примечание: Py - пирит, meln - мелонит, Hes – гессит, AuAg – самородное серебро (9-15% Ag); Ag, (Ag,Au) – самородное серебро.

В подчиненном количестве присутствуют теллуриды благородных металлов, такие как гессит  $Ag_2Te$ . Были также обнаружены теллуриды других металлов: алтаит  $PbTe$ , цумоит  $BiTe$ , мелонит  $NiTe_2$ . Согласно классификации Плотинской О.Ю., обнаруженные минералы благородных металлов относятся к золото-теллуридной ассоциации [4].

Применение 3D-технологии минералого-геохимических исследований позволило детально охарактеризовать минеральный состав различных типов руд Михеевского месторождения, Новониколаевского и Западного участков, а также выявить их сходства и

различия. Главным сульфидом во всех пробах является пирит, а минералы меди представлены халькопиритом, халькозином, борнитом и блеклыми рудами, но в разных соотношениях. В пробах первичных руд (МТ-5, НТ-1, ЗТ-3) главным минералом меди является халькопирит. Халькозин заполняет тонкие трещины в пирите, халькопирите и образует каймы вокруг них. В пробе МТ-5 также обнаружены зерна золота и редкие зерна теллуридов. Для переходных руд главным минералом меди является халькозин, который в некоторых случаях замещает пирит и халькопирит. В этих рудах также отмечается заметное количество арсенопирита.

Выявленные нами минералогические особенности различных типов руд использованы при проведении технологических тестов эффективных режимов флотационного обогащения: составлены рекомендации по оптимизации технологического регламента и приготовлению шихты, поступающей на обогатительную фабрику из руд разных участков.

Полученные данные вносят существенный вклад в изучение особенностей технологической минералогии медно-порфировых руд. Для более детального установления закономерностей распределения полезных и попутных компонентов (минералов меди и железа, а также благородных металлов) требуются дополнительные исследования промежуточных продуктов переработки руд.

### Литература

1. Ангелова Е.И. Исследование руд Михеевского месторождения для проектирования экологически сбалансированного цикла // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). М.: «Горная книга», 2015. № S4-2. С. 237-243.
2. Грабежев А.И. Новониколаевский (Mo, Au)-Cu-порфировый рудный узел (Южный Урал): петрогеохимия рудоносных гранитоидов и метасоматитов // Литосфера. 2014. № 2. С. 60-76.
3. Минина О.В., Мигачев И.Ф. Медно-порфировые провинции и зоны Южного Урала (прогнозно-металлогеническое районирование) // Отечественная геология. 2018. № 4. С. 26-41.
4. Плотинская О.Ю. Минералы благородных металлов порфировых месторождений (на примере Южного Урала) // Металлогения древних и современных океанов. 2016. № 22. С. 150-153.
5. Рудашевский В.Н., Рудашевский Н.С., Антонов А.В., Набиуллин Ф.М., Пастухов Д.М. Технологическая минералогия золота // Записки Российского минералогического общества. 2017. № 1. С. 103-125.
6. Рудашевский Н.С., Лупал С.Д., Рудашевский В.Н. Гидравлический классификатор. Патент на изобретение № 216530. Российская Федерация. 2001.
7. Рудашевский Н.С., Рудашевский В.Н. Гидравлический классификатор. Патент на изобретение № 2281808. Российская Федерация. 2006.
8. Рудашевский Н.С., Рудашевский В.Н. Гидравлический классификатор. Патент на изобретение № 69418, полезная модель. Российская Федерация. 2007.
9. Рудашевский Н.С., Рудашевский В.Н., Антонов А.В. Универсальная минералогическая технология исследования пород, руд и технологических продуктов // Региональная геология и металлогения. 2018. № 73. С. 88-102.
10. Серавкин И.Б., Минибаева К.Р., Родичева З.И. Медно-порфировое оруденение Южного Урала (обзор) // Геологический сборник. Институт геологии УНЦ РАН, Уфа, 2011. С. 186-200.
11. Rudashevsky N.S., Garuti G., Andersen J.C.Ø., Kretser Yu.L., Rudashevsky V.N., Zaccarini F. Separation of accessory minerals from rocks and ores by hydroseparation (HS) technology: method and application to CHR-2 chromitite, Niquelândia intrusion, Brazil. Applied Earth Science, 2002. V. 111(1). P. 87-94.