

МИКРОМИНЕРАЛОГИЯ ВКРАПЛЕННО-СУЛЬФИДНЫХ «ЧЕРНОСЛАНЦЕВЫХ» РУД (СЕВЕРО-ВОСТОК РОССИИ)

О.Т. Соцкая, Н.А. Горячев, Т.И. Михалицына

*Северо-Восточный комплексный научно-исследовательский институт им. Н.А. Шило ДВО РАН, г. Магадан,
685000, , г. Магадан, ул. Портовая 16, Россия*

Методами электронной микроскопии были изучены прожилково-вкрапленные руды месторождений Наталка, Павлик, Дегдекан и Ветренское, локализованные в углеродистых терригенных породах позднемезозойского Яно-Колымского складчатого пояса. Выявлено разнообразие минеральных форм золота и серебра. Монацит, присутствующий в изученных рудах, по нашему мнению, имеет гидротермальную природу.

Северо-Восток России, Яно-Колымский складчатый пояс, черносланцевые руды золота, микроминералогия, электронная микроскопия

MICROMINERALOGY OF «BLACK SHALE» DISSEMINATED-SULPHIDE ORES (NORTH-EAST OF RUSSIA)

O.T. Sotskaya, N.A. Goryachev, T.I. Mikhailitsyna

The investigation of micromineralogy of «black shale» disseminated-sulphide gold ore deposits of the Yana-Kolyma belt was conducted via electron microscopy. There are revealed a variety of mineral forms of gold and silver. Monazite in the studied ores, in our opinion, has a hydrothermal origin.

North-East of Russia, Yana-Kolyma belt, black shale gold ores, micromineralogy, electron microscopy

ВВЕДЕНИЕ

Территория Яно-Колымского орогенного пояса является крупнейшей в России золотодобывающей провинцией, в пределах которой преобладает золото-кварцевая и золото-сульфидно-вкрапленная минерализация. Нами изучены руды основных золоторудных месторождений юго-восточного фланга Яно-Колымского пояса: Наталкинское, Павлик и Дегдекан, локализованных в пермских отложениях Аян-Юряхского антиклинория и Ветренское, локализованное в триасово-юрских отложениях на сочленении Аян-Юряхского антиклинория и Иньяли-Дебинского синклинория в зоне влияния крупного Чай-Юрьинского разлома.

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ОБОРУДОВАНИЕ

Исследования проводились на программно-аппаратном комплексе QEMSCAN (Австралия, Германия), представляющего собой сканирующий электронный микроскоп EVO-5, оснащённый четырьмя энергодисперсионными спектрометрами фирмы Bruker и системой рентгеновского микроанализа Quantax.

Объектом изучения послужили минералы из тяжёлой фракции руд, после разделения их в бромформе. Были изготовлены образцы двух видов: 1) минералы наносили тонким слоем на углеродистый скотч; 2) готовили полированные шашки из эпоксидной смолы, в которые были вмонтированы минералы. Образцы напыляли углеродом. Условия проведения

измерений: ускоряющее напряжение 25 кВ, ток пучка 120 пА, размер излучающей области около 4 мкм, увеличение > 500^x. При анализе мелких фаз, размер которых меньше или соизмерим с размером зоны генерации рентгеновского излучения, происходил захват состава окружающей матрицы, что требовало дальнейшего пересчёта и исключения элементов матрицы получаемого для них валового химического состава. Эти пересчеты основывались на данных, полученных при изучении шлифов под микроскопом.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Всего было изучено 24 пробы (Наталкинское месторождение – 10 проб; месторождения Павлик и Ветренское – по 5 проб; месторождение Дегдекан – 4 пробы). В каждой пробе просмотрено более 100 000 зерен.

Основная масса минералов тяжёлой фракции руд изученных месторождений представлена арсенопиритом и пиритом. *Пирит* преобладает на месторождении Павлик, на остальных месторождениях доминирует арсенопирит. Пириты кубической и пентагон-додекаэдрической формы характерны для месторождений Наталка, Павлик и Дегдекан, а для месторождения Ветренское характерны, в основном, изометричные зёрна неправильной формы. Размер зёрен пирита колеблется от 10 до 60 мкм. В составе пирита иногда присутствует примесь As до 2–3 %, редко достигая 6,0 %. Для *арсенопирита* характерны призматические, уплощенно-гексагональные, ромбические кристаллы и их обломки (месторождение Наталка и Павлик), а также зернистые агрегатные сростания (преобладают на месторождении Ветренское). Размер выделений арсенопирита составляет от 10 до 80 мкм по длинной оси. На месторождении Ветренское иногда встречаются арсенопириты с примесью Co до 5 %.

Минералы Ni и Co – кобальтин и герсдорфит – были обнаружены во всех изученных месторождениях. Они представлены отдельными изометричными зёрнами и кристаллами кубического и октаэдрического облика размером от 25 до 85 мкм и образуют микровключения размером 2–3 мкм в пирите и в силикатной матрице. Примесь Ni в кобальтине варьирует от 3 до 5 %, Fe – от 7 до 11 %. Содержание Ni в герсдорфите колеблется от 27 до 30 %, Co около 7 %. Нередко в зёрнах кобальтина присутствуют включения галенита величиной от 0,5 до 15 мкм.

Наряду с пиритом и арсенопиритом в рудах изученных месторождений достаточно часто встречается галенит. Халькопирит, сфалерит, шеелит, рутил, монацит и ксенотим встречаются гораздо реже. *Галенит* образует мелкие вкрапления (первые микроны) неправильной формы на арсенопирите, пирите и сфалерите, образует сростки с кобальтином и золотом, изредка встречаются самостоятельные кристаллы кубического облика (до 60 мкм). В галените никаких примесей нами установлено не было, хотя по ранее опубликованным данным галенит обладает заметной неоднородностью, выраженной в вариациях примесей Bi (от 0,1 до 0,7 мас.%) и Ag (от 0,1 до 0,25 мас. %) [2]. В рудах Наталкинское месторождения отмечено присутствие единичных чешуек *молибденита* размером (7–14 мкм) на пирите и мелких включений *хромита* размером до 6 мкм.

Ni-Sb-фазы типа ульманита-брейтгауптита (NiSbS–NiSb) размером от 2 до 13 мкм были выявлены на кристалле арсенопирита в минералах из тяжёлой фракции руды месторождения

Ветренское. Ранее на Наталкинском месторождении было обнаружено единичное зерно брейтгауптита в изменённой осадочной породе [2].

Фрейбергит был обнаружен в двух пробах из минералов тяжёлой фракции руд месторождения Павлик. Размер его выделений составляет от 4 до 50 мкм. Содержание Ag колеблется от 6 до 28 мас. %.

В минералах из тяжёлой фракции руды месторождения Наталка были обнаружены единичные мелкие включения *висмутина* (размером около 1 мкм) и *самородного кадмия* (2,6 мкм) в силикатной матрице, состоящей из смеси альбита, серицита и анкерита. Ранее самородный кадмий (примесь Сг – 0,23–0,49 %) был обнаружен в породах Южного Верхоянья в сростании с кварцем гидротермальных жил и прожилков, хлоритом и амфиболом [5].

Шеелит наблюдается чаще всего в виде неправильной формы зёрен (размером 60–90 мкм), реже встречаются таблитчатые и псевдооктаэдрические кристаллы и их сростки.

Довольно часто зёрна арсенопирита, пирита и агрегаты метасоматитов изучаемых месторождений содержат микровключения монацита размером от 1 до 7 мкм. Изученные ранее зёрна аутигенного монацита – куларита размером 0,1–1,5 мм имеют эллипсоидальную, реже комковатую форму с шагреновой поверхностью [4]. В изученных нами монацитах присутствуют окиси редких земель, главным образом Се и La и отсутствуют примеси Pt_2O_3 и Y_2O_3 , в отличие от аутигенного куларита, описанного ранее на Наталкинском месторождении [4, 7]. На Наталкинском месторождении Е.Э.Тюковой с соавторами [7] монацит, установленный в сростании с кварцем, альбитом, хлоритом, мусковитом, мелкокристаллическими агрегатами биотит-мусковит-хлоритового состава и в виде микровключений в метакристаллах арсенопирита, также рассматривался как аутигенный, несмотря на все морфологические отличия от куларита. На месторождении Павлик редко встречаются разности, обогащённые Nd_2O_3 . Частота встречаемости РЗЭ на месторождении Ветренское гораздо ниже, чем на месторождениях Наталка, Павлик и Дегдекан.

Гораздо реже встречаются мелкие включения ксенотима (2–4 мкм) в мелкокристаллических агрегатах вмещающих изменённых пород, состоящих из полевого шпата, анкерита, пирита и арсенопирита. В составе ксенотима, кроме Y_2O_3 , других примесей редких земель не установлено. Микровключения монацита встречаются гораздо чаще, чем Y и Nd фазы.

Главным промышленным компонентом изучаемых месторождений является *самородное золото*. Форма выделений золота в рассмотренных образцах разнообразная – от микроскопических округлых, иногда неправильной формы чешуек и плёнок до отдельных самостоятельных кристаллов и сростков. Микровключения золота изометричных очертаний часто встречаются в виде тонких вкраплений размером от 0,6 до 6 мкм в арсенопирите и пирите. Плёночное золото обрастает зёрна сульфидов и заполняет в них трещинки. На месторождении Ветренское иногда встречаются вкрапления золота размером до 6 мкм на зёрнах кобальтистого арсенопирита (примесь Со до 5 %). Крупные зёрна золота чаще всего имеют неправильную форму и комковатый вид. Изредка встречаются кристаллы размером 30–60 мкм с видимыми гранями октаэдра. На месторождении Ветренское преобладают

округлые комковидные выделения золота с неровной дырчато-ямчатой поверхностью, а на Наталкинском месторождении – комковатые частицы с гладкой поверхностью. На месторождении Павлик нами наблюдалось самородное золото в сростании с кристаллами альбита в оторочке арсенопирита, находящееся в крупном агрегате пирита.

В изученных пробах месторождения Павлик помимо самородного золота ранее нами были обнаружены зёрна селенидов *Au* и *Ag* – науманит Ag_2Se и фишессерит Ag_3AuSe_2 (?), размерами от 0,6 до 2,5 мкм, в сростках с арсенопиритом [6]. Фишессерит был установлен и в рудах Ветренского месторождения [6]. Селениды распространены неравномерно и встречаются спорадически.

Серебро в самородной форме в единичных зёрнах округлой формы размером от 1,1 до 5 мкм установлено в рудах месторождений Наталка, Павлик и Дегдекан. В рудах Наталкинского месторождения нами обнаружен теллурид серебра – гессит. Размер зёрен варьирует от 2 до 59 мкм, форма зёрен овальная и изометричная [8].

Кроме того, на месторождении Дегдекан ранее нами [3] были установлены минеральные фазы *платиноидов*: самородный осмий, рутениридосмин, осмирид, рутеносмирид, лаурит, иридарсен, арсенид рутения, осмия и иридия. Размеры минералов колеблются от 0,5 до 3 мкм. Они образуют вростки в силикатную матрицу породы, иногда отмечаются в пустотах – порах в породе, редко встречаются изометричные индивидуальные частицы [3].

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Обобщая результаты наших исследований, можно отметить, что в изученных месторождениях Яно-Колымского пояса основная форма нахождения элементов в рудах – микроминеральная. Они образуют самостоятельные фазы и характеризуются микрозернистостью выделений и неравномерностью распределения. Выявлено разнообразие минеральных форм золота и серебра, которые помимо самородных фаз встречаются в виде теллуридов и селенидов, что ставит вопрос о необходимости корректировки технологического процесса их извлечения. Тесная ассоциация монацита с минералами метасоматитов, а также с пиритом и арсенопиритом, наряду с его морфологическими особенностями и различиями в составе примесей, позволяют предполагать его гидротермальную природу. По аналогии с Южным Верхояньем можно предположить, что кадмий был образован при невысоких температурах и давлениях в процессе гидротермально-метасоматического изменения терригенных и карбонатных пород, предшествующего формированию прожилково-вкрапленной минерализации [5].

Присутствующая ассоциация Ru–Ir–Os состава на месторождении Дегдекан необычна для осадочных пород, в то время как на месторождениях-эталонах черносланцевых толщ (Мурунтау, Сухой Лог и др.) преобладают Pt и Pd. С одной стороны эти минералы образуют сростания с силикатной матрицей метасоматитов, с другой – ассоциируют с сульфоарсенидами Co и Ni [3]. Co–Ni минерализация достаточно широко распространена в изучаемых рудах и имеет тонкодисперсный, рассеянный характер. Возможным источником платиноидов в осадочных толщах перми Яно-Колымского

золотоносного пояса могли быть сейсмоактивные троговые зоны дна пермского моря, подобные современным установленным в донных отложениях Чукотского моря [1].

Работа выполнена при поддержке программы фундаментальных исследований ДВО и УрО РАН, проекты № 12-II-УО-08- 017 и №12-С-5-1006.

ЛИТЕРАТУРА

1. Астахов А.С., Горячев Н.А., Михалицына Т.И. Об условиях формирования обогащённых золотом горизонтов рудовмещающих черносланцевых толщ (на примере пермских и современных морских отложений Северо-Востока Азии) // ДАН, 2010. Т. 430. № 2. С. 212–217.

2. Гончаров В.И., Ворошин С.В., Сидоров В.А. Наталкинское золоторудное месторождение. Магадан. СВКНИИ ДВО РАН. 2002. 250 с.

3. Горячев Н.А., Соцкая О.Т., Горячева Е.М. и др. Первая находка минералов платиновой группы в черносланцевых золотых рудах месторождения Дегдекан на Северо-Востоке России // ДАН, 2011. Том 439. № 1. С. 79–82.

4. Некрасова Р.А., Некрасов И.Я. Куларит – аутигенная разновидность монацита // ДАН, 1983. Т. 268. С. 688–693.

5. Редкие минералы в Якутии. Якутск: ЯФ СО АН СССР. 1984. 108 с.

6. Соцкая О.Т., Горячев Н.А. Микроминеральные формы нахождения золота и серебра во вкраплено-сульфидных «черносланцевых» рудах (Северо-Восток России) // Геология и минерально-сырьевые ресурсы Северо-Востока России. Якутск. 2012. Том II. С. 173–177.

7. Тюкова Е.Э., Михалицына Т.И., Викентьева О.В. Редкоземельная минерализация Наталкинского золото-кварцевого месторождения (Магаданская область) // Геохимия и рудообразование радиоактивных, благородных и редких металлов в эндогенных и экзогенных процессах. Часть 1. Улан-Удэ, 2007. С. 168–171.

8. Sotskaya O., Goryachev N., Goryacheva E. et al. Micromineralogy of “black shale” disseminated-sulphide gold ore deposits of the Ayan-Yuryakh anticlinorium (North-East of Russia) // Journal of Earth Science and Engineering, 2012. N 2. P. 74–753.