

МИНЕРАЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ РУД МЕДНОКОЛЧЕДАННОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ ЮБИЛЕЙНОЕ (Ю. УРАЛ)*

И.В. Викентьев^{1,2}, А.Г. Саенко¹, Е.В. Карелина¹,
А.И. Ежов¹, Н.В. Трубкин²

¹Кафедра МПИ, Инженерный факультет
Российский университет дружбы народов
ул. Орджоникидзе, 3, Москва, Россия, 115923

²ИГЕМ РАН
Старомонетный пер., 35, Москва, Россия, 11907

Изучены особенности минерального состава руд крупного медноколчеданного месторождения Юбилейное — относительно слабо метаморфизованного и в настоящее время вскрываемого карьером. Основными текстурами руд являются вкрапленные, пятнистые, полосчатые, прожилковые. Выделено по две генерации халькопирита, сфалерита, кварца и три генерации пирита. Собственные минералы Au представлены мельчайшими выделениями самородного золота (пробность 631—662) в прожилках в ассоциации с блеклой рудой и галенитом; тесная связь самородного золота с указанными минералами подтверждается высокой положительной корреляцией Au с Pb, As и Sb в составе руд.

Ключевые слова: Южный Урал, колчеданная руда, структура, текстура, сульфиды, пирит, самородное золото.

Юбилейное месторождение (Хайбулинский район респ. Башкортостан) располагается в пределах Баймак-Бурибайского рудного района на юге западного борта Магнитогорской мегазоны [2]. Сегодня оно является одним из самых крупных из разведанных в России. Его балансовые запасы меди составляют 1,64 млн т, цинка — 1,06 млн т [1]. Добыча первичных (неокисленных) руд месторождения начата недавно, и в настоящее время оно ведется ООО «Башкирская медь» (в год добывается 1,4 млн т руды). С 1996 г. ОАО «Хайбуллинская горная компания» с перерывами проводило добычу бурожелезняковых золотосодержащих руд зоны окисления, из которых до настоящего времени золото извлекается методом кучного выщелачивания (так, в 2008 г. было извлечено 259 кг Au).

Локализовано в Петропавловской вулканогенной брахиантиклинали, осложненной складчатыми деформациями и крутопадающими разрывными нарушениями северо-западного падения. Разрез рудного поля представлен вулканогенными баймак-бурибаевской свитой базальт-риолитовой формации (D_1e *bbr*) и ирендькской свитой базальт-андезит-дацит-риолитовой формации (D_1 - D_2e *ir*), а также осадочными породами бугулыгырской (D_2gv *bg*), улутаусской (D_2gv *ul*), мукасов-

* Исследования поддержаны Министерством образования и науки (госконтракт № 02.740.11.0327); Президиумом РАН (Программа-23, проект 2.1.1); РФФИ (проекты 09-05-01050, 10-05-00747).

ской ($D_3fr\ mk$) и зилаирской свит ($D_3-C_{1t_1}\ zl$). Мезо-кайнозойский структурный ярус сложен корой выветривания триасового возраста (включая золотоносные бурые железняки), рыхлыми слаболитифицированными угленосными породами юры (глины, песчаники, гравелиты) и неоген-четвертичными существенно глинистыми образованиями.

На Юбилейном месторождении на глубинах от 52 до 585 м выявлено шесть рудных тел медноколчеданных руд. По составу преобладают Cu и Cu-Zn колчеданные руды, редко обособляются Zn руды. В рудах Юбилейного месторождения установлены 32 рудных и 18 нерудных минералов (таблица).

Таблица

Минеральный состав руд Юбилейного месторождения

Минералы	Гипогенные		Гипергенные	
	рудные	нерудные	рудные	нерудные
Главные	Пирит, халькопирит, сфалерит	Кварц, хлорит (клинохлор), кальцит, серицит	Гидрогетит, гетит, борнит, халькозин	Ярозит
Второстепенные	Галенит, блеклая руда, халькозин, борнит, гематит, мельниковит-пирит, марказит, пирротин, магнетит, арсенопирит	Барит, тальк, альбит	Ковеллин, дигенит, халькантит	Гипс, сидерит, ангидрит, каолинит
Редкие и очень редкие	Самородное золото, аргентит, алтаит, гессит, энаргит, бурнонит, германит, рутил, лейкоксен	Эпидот, сфен апатит, калишпат	Церуссит, самородная медь, малахит, азурит, куприт	Мелантерит-цеолиты

По преобладающему количеству рудного минерала руды изученной коллекции (сборы 2007—2009 гг.) можно условно разделить на несколько категорий: 1) сплошная Cu-Zn-колчеданная руда; 2) сплошная и густовкрапленная Cu-колчеданная руда; 3) вкрапленная колчеданная руда с незначительным развитием халькопирита и сфалерита. Они изучены микроскопически и с применением аналитической электронной микроскопии.

Сплошная Cu-Zn-колчеданная руда макроскопически — преимущественно сфалерит-халькопирит-пиритовая руда с содержанием сульфидов от 30 до 95%. *Характерные текстуры* массивные, полосчато-, густовкрапленные, а также гнездово-, прожилкововкрапленные. Полосчатость обусловлена чередованием субпараллельных полосок серного колчедана тонко-, мелкозернистой структуры мощностью 1—2 мм, содержащих порфиroidные его кристаллы, с полосками существенно халькопиритового состава мощностью 1—3 мм, а также халькопирит-сфалеритового в кварц-серицит-хлоритовом агрегате. У пирита часто наблюдается ярко выраженная зернистая *структура* с изометрично-идиоморфными зернами 0,5—1,0 мм, а также порфиroidные вкрапления (2—3 мм), халькопирит обладает тонкозернистой структурой.

Минеральный состав: пирит, халькопирит и кварц; реже встречаются хлорит, серицит, карбонат, сфалерит; редкие минералы — блеклая руда, борнит, халькозин, галенит. Встречено самородное золото. Соотношение этих минералов в руде следующее (об.%): халькопирит 20—90, сфалерит 0,5—30, пирит 0,5—55, блеклая руда 0—2, вторичные минералы Cu 0—5, жильные минералы 5—40.

Характерными формами выделений *халькопирита* являются: 1) агрегаты в виде скоплений, гнезд и жилок; 2) неправильные выделения, совместно с кварцем цементирующие обломки пиритового состава; 3) тонкие прожилки, развивающиеся по пириту, сфалериту, кварцу; 4) редкие рассеянные вкрапления в местах скоплений хлорита; 5) эмульсиевидная вкрапленность в сфалерите.

Скопления и гнезда халькопирита размером 2—5 (до 15 мм), как правило, сопровождаются пиритом. Является более поздним к пириту I и пириту II, цементирует его, располагаясь в промежутках зерен и агрегатов. Выполняя их промежутки, халькопирит образует густую сеть каемочно-петельчатого и цепочечно-петельчатого сложения, превращающуюся в систему замкнутых прожилков мощностью 0,01—0,15 мм. При травлении в парах царской водки халькопирит проявляет аллотриоморфнозернистую структуру, размер зерен 0,03—0,05 мм до 0,1 мм. Наблюдаются полисинтетические и простые двойники.

Часто в более позднем халькопирите II наблюдаются многочисленные обломки более раннего пирита или идиоморфные его зерна, а в пиритовых зернах иногда наблюдаются каплевидные включения халькопирита размером 0,005—0,01 мм, иногда более крупные линзовидные (0,03 × 0,05 мм), близкие к прямоугольной форме, но с очень неровными границами, а также червеобразные изогнутые линзочки 0,005—0,01 мм.

Размеры зерен и агрегатов *сфалерита* 0,02—0,5 мм, местами достигают 1 и более мм. Сфалерит I образует крупнозернистые субизометричные агрегаты с чистой полированной поверхностью. Несет редкую тонкую вкрапленность халькопирита (типа структур распада твердого раствора), а также сечется нитевидными прожилками халькопирита. В раннем сфалерите встречается редкая вкрапленность и линзы более поздней блеклой руды. Кроме того, по сфалериту I наблюдались нитевидные образования галенита (0,01 × 0,05 мм), развивающегося по микротрещинам. При травлении в парах царской водки выявлено аллотриоморфнозернистое строение образований сфалерита I с ровными полисинтетическими двойниками давления.

«Шагреновый» сфалерит II обогащен вкрапленностью халькопирита (0,01—0,05 мм и крупнее). В нем нередко наблюдаются многочисленные включения и микропрожилки хлорита. Контуры зерен сфалерита II извилистые, неровные. С данным сфалеритом пространственно связаны прожилковидные агрегаты мелких изометричных кристаллов пирита.

Иногда наблюдаются реликты сфалерита в кварце, а также пересечения сфалерита кварцем с вкрапленностью халькопирита, что свидетельствует о более позднем образовании последнего. Обычно сфалерит встречается совместно с халькопиритом в пирите, который обычно замещается ими как с краев зерен, так и по тре-

цинкам в виде тонких (0,005—0,01 мм) ветвящихся жилок с утолщениями (0,05—0,1 мм) и гнездами (0,1—0,2 мм). Границы неровные, с элементами внедрения сфалерита в пирит. Замещая пирит, сфалерит местами сохраняет правильные формы последнего или реликты колломорфного строения.

Пирит — самый распространенный рудный минерал. Наиболее ранним является пирит I с четко выраженным колломорфным строением, подчеркнутым трещинами, иногда заполненными рудными минералами. Содержание его в рудах относительно остальных пиритов — около 30%. Центральная часть такого пирита бывает выполнена рудным или нерудным минералом.

Пирит II более распространен, составляет около 60% общего количества. Зернистые агрегаты разной крупности (0,01—0,1 мм) приурочены к густовкрапленным рудам. Представлены они аллотриоморфными зернами размером 0,05—0,1 мм, реже идиоморфными кристаллами размером 0,1—0,3 мм. Довольно часто корродированы халькопиритом — наблюдаются признаки его замещения как с периферии, так и по трещинкам, секущим пирит. Крупные зерна пирита часто имеют секториальное строение, подчеркнутое удлинненными выделениями халькопирита. Реже по этим зонам развивается сфалерит. Крупные пиритовые кристаллы часто разбиты трещинками, иногда залеченными халькопиритом.

Изометричный пирит III размером до 0,05—0,1 мм и более встречаются реже (в 8—10% случаях). Зерна пирита в основном шестигранные, иногда квадратной или близкой к ней формы, в некоторых кристаллах можно наблюдать скошенные углы, свидетельствующие о более сложной, чем кубы, форме (пентагондодекаэдр), обычно располагаются среди более ранних пиритов и являются продуктами их перекристаллизации. В рудах был встречен пирит нехарактерной для него формы — в виде пластинок, в кварце, по-видимому, представляющих собой псевдоморфозы по пирротину.

Блеклая руда — редкие вкрапленники продолговатой или изометричной формы в сфалерите, иногда вместе с халькопиритом. Размер выделений 0,05 мм, реже более 0,1 мм. Содержание блеклой руды в шлифах не превышает 1 об.%. *Галенит* был встречен в нескольких образцах в виде единичных каплевидных включений в пирите, сфалерите, халькопирите, кварц-хлоритовом агрегате или в виде микропрожилков. Размер его выделений в среднем 0,02 мм (до 0,06 мм).

Обнаружено два удлинненных выделения *самородного золота* в микропрожилках толщиной 0,01 мм, совместно с блеклой рудой (рис.) и галенитом по сфалериту. Состав обоих близок электруму AuAg, Пробность золота 631—662. Размеры выделенных из минералогических проб золотинок обычно около 10—60 микрон, лишь редкие выделения достигают 0,5 мм. По данным анализов (пробирный, ICP MS), содержание золота в первичных рудах может достигать 2,6—4,0 г/т. В пробах, отобранных из скважин по третьему рудному телу, в некоторых случаях содержание золота достигало 11—38 г/т. Тесная связь самородного золота с галенитом и блеклой рудой подтверждается высокой положительной корреляцией Au с Pb, As и Sb. Содержание Ag в руде составляет 5—20 г/т (изредка до 50—200 г/т).

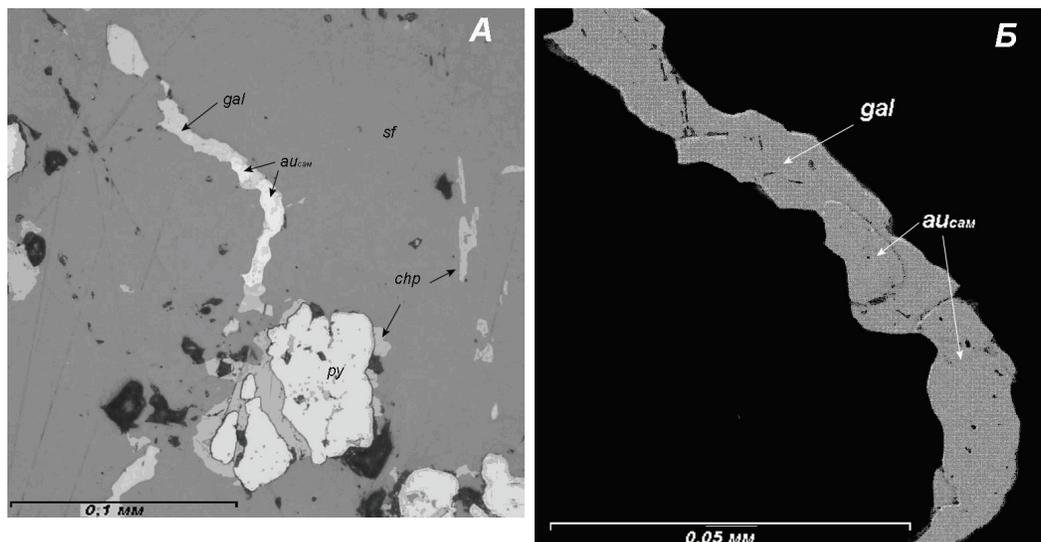


Рис. Мелкие выделения самородного золота в богатой сфалерит-халькопирит-пиритовой руде Юбилейного месторождения:

А — в отраженном свете; Б — фрагмент рис. А, в обратно-рассеянных электронах

Медноколчеданная руда представлена массивной или густовкрапленной разностями. Содержание сульфидов — 50—90%. Текстура вкрапленная, массивная, пятнистая, иногда полосчатая, обусловленная прерывистыми скоплениями халькопирит-пиритовых агрегатов среди пиритовой составляющей. Структура всех образцов зернистая от тонко-, мелкозернистой до среднезернистой. Характерны также порфиоровые вкрапления пирита размером 0,5—1,0 мм, до 1,5—3,0 мм на фоне неравномернотонкозернистой структуры руды.

Основной минеральный состав — пирит, халькопирит, сфалерит, дигенит, борнит, кварц, хлорит, карбонат. Соотношение рудных и нерудных минералов следующее (об. %): пирит 30 (до 70), халькопирит 10 (до 55), сфалерит 2—10, вторичные минералы Cu 0—2, жильные 10—18.

Пирит представлен тремя генерациями. Пирит I и пирит II являются более ранними по отношению к остальным рудным минералам. Наиболее ранний из них имеет реликты колломорфного строения, а самый поздний слагает идиоморфные мелкие кристаллы правильной четырех-, пяти-, шестигранной формы, часто приуроченные к кварц-хлоритовому агрегату. Соотношения этих генераций в рудах следующие: пирит I колломорфного строения — 10 об.%, пирит II гипидиоморфный и аллотриоморфнозернистый — 60 об.%, пирит III мелкозернистый, идиоморфный — 30 об.%

Наиболее характерные формы *халькопирита*: 1) неравномерно распределенные вкрапления и агрегаты различной крупности; 2) прожилки; 3) тонкие включения в другие минералы, а также эмульсиевидная вкрапленность в сфалерите. Тесно ассоциирует с пиритом, интенсивно замещает его как с краев, так и по межзерновым пространствам, обволакивая отдельные зерна в виде тонких (0,001—0,05 мм) ветвящихся жилок, проникает внутрь их, является более поздним по отношению к нему. Часть жилок подчеркивает реликты зонального строения пи-

рита. Также халькопирит образует пятнистые выделения, превышающие 2—3 мм, в нем заключены обломки и порфиновые зерна пирита. В кварц-хлоритовом агрегате халькопирит развальцован, его форма чешуйчатая, пластинчатая.

Сфалерит распространен крайне неравномерно в форме единичных включений размером до 0,1 мм в пирите, халькопирите или жильных минералах. Часто приурочен к поздним выделениям и прожилкам кварца с хлоритом мощностью 1—2 мм, где он представлен в виде пластинок и жилок.

Вкрапленная колчеданная руда с незначительным развитием халькопирита и сфалерита макроскопически часто представляет собой существенно кварцевую метасоматическую породу с сульфидной вкрапленностью (от 15 до 50% и выше) и преобладанием пирита среди рудных минералов. *Основные текстуры* рассеянно-, равномерно-, полосчато-, густовкрапленные. Полосчатая текстура обусловлена чередованием субпараллельных полосок серного колчедана тонко-, мелко-зернистой структуры мощностью 1—2 мм, содержащих редкие порфирировидные его кристаллы размером 2—3 мм, с хлоритовыми полосками мощностью 1—5 мм, часто выклинивающимися. Иногда чередуются полоски пирита разной зернистости.

Эти вкрапленные руды с точки зрения промышленности отвечают серноколчеданным и бедным Cu-Zn рудам. Идиоморфные кристаллы пирита размером 0,1—0,3 мм обычно располагаются среди аллотриоморфных зерен размером 0,05—0,1 мм, являясь продуктами их перекристаллизации. Часто пирит сохраняет признаки колломорфного строения или замещается кварцем по зонам роста, что является свидетельством незначительного развития процессов динамометаморфизма в рудах. В рудах этого типа наблюдаются элементы брекчиевидных структур — кварц-хлорит-пиритовый агрегат цементирует обломки раннего, более чистого кварца с редкой вкрапленностью пирита.

Халькопирит и сфалерит — редкие минералы этого типа руд (сфалерит не более 1%, халькопирит от 0 до 4—5%). Встречаются среди кварцевых агрегатов, чаще среди пирита в виде мелких каплевидных включений размером 0,005—0,01 мм, реже до 0,1 мм, микропрожилков, секущих или цементирующих агрегаты пирита, а также единичных зерен до 0,3—0,5 мм. В микропрожилках сфалерит образовался близодновременно с халькопиритом, встречается в виде мелких включений в последнем.

Выводы. Список минералов месторождения расширен до 50 видов. Выделено по две генерации халькопирита, сфалерита, кварца, три генерации пирита. Собственные минералы Au представлены тонкими выделениями самородного золота (проба 631—662) в прожилках в ассоциации с блеклой рудой и галенитом; тесная связь самородного золота с указанными минералами подтверждается высокой положительной корреляцией Au с Pb, As и Sb в составе руд.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Государственный доклад «О состоянии и использовании минерально-сырьевых ресурсов Российской Федерации в 2008 г». — М.: Минерал, 2009.
- [2] *Кривцов А.И., Минина О.В., Волчков А.Г. и др.* Месторождения колчеданного семейства. Серия: Модели месторождений благородных и цветных металлов. — М.: ЦНИГРИ, 2002.

**MINERALOGICAL FEATURES
OF ORE OF COPPER-PYRITIC DEPOSIT
YUBILEINOYE (S. URALS)**

**I.V. Vikentyev^{1,2}, A.G. Saenko¹, E.V. Karelina¹,
A.I. Ezhov¹, N.V. Trubkin²**

¹Mineral Dep., Engineering Faculty
Peoples' Friendship University of Russia
Ordzhonikidze str., 3, Moscow, Russia, 115419

²IGEM RAS
Staromonetnyi str., 35, Moscow, Russia, 11907

Mineralogical composition features of large copper-pyritic Yubileinoye deposit (slightly metamorphized and now exploited by open pit) are studied. Major ore structures include impregnated, spotted, banded, stringer structures. Two generations of chalcopyrite, sphalerite and quartz, and 3 generation of pyrite were found. Proper gold minerals occur as tiny isolations of native gold (fineness 631—662) in veinlets accompanied by tennantite-tetrahedrite and galena; the connection of native gold with these minerals is supported by close correlation Au with Pb, As and Sb in ore composition.

Key words: South Urals, copper-pyritic ore, structure, texture, sulphides, pyrite, native gold.