МИНЕРАЛОГИЯ ЗОЛОТОСУЛЬФИДНЫХ РУД МЕСТОРОЖДЕНИЯ МАЛОМЫР (ДАЛЬНИЙ ВОСТОК)

Д. О. Ожогин

Московский филиал ФГУП «ВСЕГЕИ», Москва
ozhogindenis@yandex.ru

Коренные золотосульфидные, золотосульфидно-кварцевые и золотокварцевые руды представляют сегодня промышленный интерес, поэтому информация об их составе и строении важна и актуальна.

Объектом исследования являлись полиминеральные золотосульфидные руды месторождения Маломыр (Дальний Восток), исследованные комплексом минералогических методов (оптическая и электронная микроскопия, рентгенография). Золотосодержащие минералы пирит и арсенопирит представлены несколькими генерациями, отличающимися кристалломорфологическими особенностями, микростроением, составом, микропарагенезисами, концентрацией золота. Установлена форма нахождения тонкодисперсного золота, характер взаимоотношения с другими минералами, приуроченность его ко второй минеральной ассоциации.

Ключевые слова: *золотосульфидные руды, пирит, арсенопирит, самородное золото, минеральная ассоциация, генерация, микропарагенезис, рудная стадия.*

MINERALOGY OF MALOMYR GOLD-SULPHIDE DEPOSIT (FAR EAST)

D. O. Ozhogin

Moscow branch of RGRI, Moscow

Today native gold-sulfide, gold-sulfide-quartz and gold-quartz ores represent definite industrial interest, therefore (information) about their composition and structure is important and relevant.

Polyminerall gold-sulfide ores of Malomyr deposit (Far East) have been studied by the modern mineralogical techniques complex, i.e. optical and electron microscopy, radiography. Gold-bearing minerals pyrite and arsenopyrite are represented by several generations differing in crystal morphology features, microstructure, composition, microparagenesis and gold content. We identified disperse gold forms, fixed in the second mineral association and their relationship with other minerals of the deposit.

Keywords: *Gold-sulfide ores, pyrite, arsenopyrite, native gold, mineral association, generation, microparagenesis, ore stage.*

Введение

Перспективы освоения отечественных коренных месторождений золота связывают с золотосульфидными, золотосульфидно-кварцевыми и золотокварцевыми рудами. Лидирующее положение среди них занимают золотосульфидные руды, в которых металл присутствует преимущественно в тонкодисперсной форме в сульфидах (пирите, халькопирите, пирротине, арсенопирите и т. д.). Сложность минерального состава золотосульфидных руд определяет необходимость глубокого минералогического изучения не только золота (форм его нахождения, особенностей состава и строения, характера распределения), но и золотосодержащих минералов и ассоциаций, а также вмещающих пород. Всесторонняя информация об особенностях руд позволяет разрабатывать поисково-оценочные минералогические критерии и определять технологии их обогащения и переработки.

Объект и методы исследования

Золоторудное месторождение Маломыр расположено в Селемджинском районе Амурской области в 80 км к западу от районного центра п. Экимчан и в 100 км западнее Тоурского месторождения.

Месторождение Маломыр входит в состав Верхнеселемджинского золотоносного района, занимающего западную часть Приохотского звена Амурской геосинклинально-складчатой системы. В плане региональных структур Маломырское руд-

ное поле находится в западной части Селемджино-Кербинской структурно-формационной зоны, объединяющей метаморфизованные в филлитовой и зеленосланцевой фациях вулканогенные и терригенные образования палеозоя, дислоцированные в систему линейных, купольных и межкупольных складчатых структур. Рудные тела представляют собой зоны прожилковой, прожилково-вкрапленной и вкрапленной золотосульфидной, тонкопрожилковой и прожилково-сетчатой золотокварцевой минерализации, приуроченной к неравномерно метасоматически преобразованным породам с незначительной примесью органического вещества (до 1 %). Содержание сульфидов варьирует от 2 до 12 % (на наиболее глубоких горизонтах первичных руд). Золотосульфидное оруденение локализовано во внутренних частях ореолов развития кварцсерцитовых метасоматитов, распространение которых контролируется многочисленными тектоническими нарушениями и приурочено главным образом к интенсивно раздробленным, часто брекчированным образованиям [4].

Отличительной чертой современной минералогии руд золота можно считать переход к исследованиям минералов на уровне микронаноразмерности [7, 9], позволяющим установить форму нахождения золота, определить анатомию минеральных индивидов, количественно оценить типоморфные признаки золотосодержащих минералов. Поэтому основной упор был сделан на изучение состава и строения рудных минералов и руд

в целом методами аналитической электронной микроскопии, которые сегодня являются не только основными методами фундаментальных исследований, но и аналитическими и контрольно-измерительными методами при изучении тонкодисперсных объектов [8]. Исследования проводились на растровом электронном микроскопе Tesla-301B (Словакия) с микрорентгеноспектральной приставкой и на просвечивающих электронных микроскопах Tesla-540B (Словакия) и Tescan-12B (Голландия). Идентификация минеральных фаз осуществлялась микродифракционным методом.

Электронно-микроскопическому изучению минералов и руд предшествовало их исследование методами оптической микроскопии (световой исследовательский микроскоп Leica RD DM, Германия) и рентгенографии (рентгеновский дифрактометр X Pert PRO, Голландия).

Результаты и их обсуждение

Золотосульфидные руды месторождения Маломыр по своему образованию полигенны. Современный облик руд сформировался в результате гидротермально-метасоматического процесса и последующих преобразований [3, 4, 6]. Гидротермально-метасоматическая минерализация, являющаяся рудной, представлена рассеянной и гнездовидной вкрапленностью, прожилками разного вида и мощности, линзами сульфидов и жильными образованиями разного состава. В связи с этим руды характеризуются сложными взаимоотношениями слагающих их минеральных агрегатов, разновременными минеральными ассоциациями и генерациями рудных минералов, типом распределения в них самородного золота. При этом руды являются полиминеральными, состоящими из 80 минералов.

Изучение текстурно-структурного рисунка руд, изменяющегося под воздействием гидротермально-метасоматического процесса, позволило выделить три рудные минеральные ассоциации рудной стадии: марказит-пиритовую, сфалерит-пирит-арсенипиритовую и пирит-арсенипиритовую.

Марказит-пиритовая минеральная ассоциация наблюдалась в нижних горизонтах всех изученных скважин. Вмещающие породы представлены кварцевыми и серицит-кварцевыми метасоматитами.

Руды имеют мелко- и тонковкрапленную текстуру, иногда отмечаются почковидные выделения пирита, размер которых не превышает 0,01 мм. Структура руд фрамбоидная, колломорфная (реликтовая) и гранобластовая. Руды в разной степени катаклазированы и брекчированы, поэтому для них в целом характерны структуры смятия, дробления, катаклаза, развалыцевания.

Главным рудным минералом ассоциации является пирит 1-й генерации. В подчиненном количестве присутствуют пирротин, марказит, сфалерит (марматит), халькопирит, магнетит, титано-магнетит. Обнаружены единичные агрегаты рутил-анатаз-ильменитового состава с четко выраженной ильменитовой решеткой. Методами электронной микроскопии и рентгенографии обнаружены и диагностированы **сульфиды** — макинавит FeNi_9S_8 , миллерит NiS , бравоит FeNiS_2 , хизлевудит Ni_3S_2 , катипирит CoFeNiS_2 ; **арсениды** — никелин NiAs , леллингит FeAs_2 , раммельсбергит NiAs_2 ; **сульфоарсениды** — герсдорфит NiAsS , кобальтин CoAsS , образующие микро- и нановключения в пирите.

Пирит 1-й генерации представлен тонкой сыпьевидной и пылевидной вкрапленностью с явно выражен-

ной тенденцией к сегрегации, реже присутствуют почковидные образования. В ассоциации с пиритом всегда отмечается марказит. Сопоставляя отдельные фрагменты и детали структурной перегруппировки пирита, можно говорить о его последовательной перекристаллизации — от беспорядочно тонкорассеянных зерен («пыли») до индивидов с четкими кристаллографическими очертаниями, что приводит к образованию гранобластовых агрегатов.

Установлено, что пирит 1-й генерации имеет нестехиометрический состав. Содержание железа (46.46–46.98 %) и серы (52.17–52.90 %) в пирите варьирует в незначительных пределах. Отношение серы и железа изменяется от 1.95 до 1.99, т.е. отмечается явный дефицит серы, обусловленный, очевидно, низкой активностью серы в минерализующем растворе и избытком катиононосителей. Нередко пирит-1 содержит мышьяк (0.01–0.02 %), в основном связанный с включениями арсенидов и сульфоарсенидов нанометрической размерности. Он отличается наиболее высоким содержанием кобальта (0.4–0.2 %) по отношению к пириту других генераций и постоянным присутствием никеля (0.01 %). Установлено, что кобальт и никель не только изоморфно входят в структуру минерала, но и присутствуют в виде микронановключений сафлорита, раммельсбергита, герсдорфита. Отношение кобальта к никелю в пирите 1-й генерации всегда больше 1. Содержание меди (0.03–0.08 %) и цинка (0.03 %) связано с микровключениями халькопирита и сфалерита соответственно.

Сфалерит-арсенипирит-пиритовая минеральная ассоциация наиболее распространена в рудах, с ней связана основная часть золота. Она присутствует во всех изученных скважинах. Вмещающие породы — метасоматиты типа березитов. Вкрапленные руды характеризуются гнездо- и пятновидными обособлениями пирита 2-й и арсенипирита 1-й генераций. Структура руд гранобластовая, порфиробластовая.

Главными рудными минералами 2-й минеральной ассоциации являются пирит 2-й генерации и арсенипирит 1-й генерации. В резко подчиненном количестве, обычно в виде включений в главных рудных минералах присутствуют сфалерит 2-й генерации (клеюфан) и халькопирит 2-й генерации. Методами электронной микроскопии и рентгенографии обнаружены **арсениды и сульфоарсениды Ni, Co**, среди которых преобладают Co-кобальтин (CoAsS) и коринит (NiCo(AsSb)S), а также **As-разновидность блеклых руд** — теннантит ($\text{Cu}_{12}\text{As}_4\text{S}_{13}$), образующие тонкие включения в рудных минералах.

Пирит 2-й генерации и арсенипирит 1-й генерации представлены в основном порфиробластическими выделениями (рис.1). Порфиробластические выделения пирита-2, имеющие идиоморфную форму и достигающие 1 мм в диаметре, насыщены включениями минералов, что приводит к образованию ситовидных зерен.

Метасоматический генезис порфиробластических выделений пирита-2 подтверждают каемки обрастания — стебельчатые, ленточные, чешуйчатые, волокнистые агрегаты, состоящие из кварца, слюды с переменным содержанием анкерита и альбита. Рост агрегатов связан с перекристаллизацией вмещающей породы вокруг пирита при одностороннем давлении, т.е. новообразованием в «тенях давления».

Выявлено, что пирит 2-й генерации также имеет нестехиометрический состав: содержание железа равно 44.05–45.10 %, серы — 53.10–53.85 %.

Рис. 1. А. Сrostок пирита 2-й генерации и арсенопирита 1-й генерации. Б. Кристалл арсенопирита 1-й генерации. РЭМ
Fig. 1. A. Aggregate of 2nd generation pyrite and 1st generation arsenopyrite. Б. Crystal of 1st generation arsenopyrite. SEM

Он отличается избытком серы и постоянным присутствием изоморфной примеси мышьяка, в отличие от пирита 1-й генерации. Отношение серы к железу составляет 2.07–2.10. Вероятно, избыток серы связан с ее приносом гидротермальными растворами. Присутствие мышьяка (0.04–0.08 %) обусловлено не только изоморфным вхождением в структуру пирита, но и замещением пирита арсенопиритом 1-й генерации. Минерал характеризуется наиболее высоким содержанием никеля (0.03–0.09 %): содержание кобальта в нем составляет 0.03–0.06 %. Установлено, что Ni и Co в незначительном количестве входят в структуру пирита, а в основном образуют собственные фазы – кобальтин и коринит. В пирите 2-й генерации присутствуют цинк (0.07–0.1 %), входящий в состав сфалерита, медь, связанная с микровключениями халькопирита и теннантита, идентифицированного микродифракционным анализом.

Арсенопирит 1-й генерации присутствует в виде метакристаллов размером от 0.01 до 0.2 мм в ассоциации с пиритом 2-й генерации. Отличительным признаком арсенопирита 1-й генерации является правильная форма кристаллов – псевдоромбоэдральная, реже бипирамидально-таблитчатая и короткопризматическая (рис. 2). Нередко фиксируется наличие крестообразных и звездчатых двойников и тройников. Арсенопирит 1-й генерации содержит значительное количество микровключений рудных и породообразующих минералов. Для метакристаллов арсенопирита-1 также типичны каемчатые ободки, сформированные слюдой и кварцем в «теньях давления».

Характерной особенностью является неравномерное замещение арсенопиритом-1 пирита. При этом образуются кристаллы панидиоморфной формы и метакристаллы арсенопирита-1. Электронно-микроскопическим анализом подтверждено, что кристаллы арсенопирита 1-й генерации зарождаются в пирите 2-й генерации.

Установлено, что арсенопирит-1 имеет нестехиометрический состав при неизменяющихся содержаниях железа (37.9 %), мышьяка (45.1 %) и серы (18.02 %). Для него характерен дефицит серы+мышьяка ($S + As/Fe = 1.734$),

обусловленный, очевидно, низкой активностью серы и мышьяка в минерализующем растворе, и избыток железа. Присутствие никеля (0.01–0.08 %), кобальта (0.01–0.04 %), меди (0.01 %) и цинка (0.07 %) обусловлено включениями коринита и кобальтина, сфалерита и теннантита. Невысокие содержания кремнезема и глинозема (порядка 3–5 %), оксидов кальция и калия (около 1 %) связаны с тонкими включениями породообразующих минералов, которые нередко удается диагностировать только методами электронной микроскопии.

Арсенопирит-пиритовая минеральная ассоциация присутствует только в верхнем горизонте отдельных скважин. Вмещающими являются метасоматические породы кварцевого, полевошпат-кварцевого и реже карбонатного состава. Руды имеют прожилково-вкрапленную текстуру. Прожилковые и гнездовидные рудные обособления достигают 20 мм. Рудные минералы представлены панидиоморфными и гипидиоморфными зернами различного размера, что определяет структурный рисунок руды. Интенсивная тектоническая переработка пород и мощное брекчирование обусловило широкое развитие брекчиевых и брекчиевидных текстур и катакlastических структур.

Главными рудными минералами являются арсенопирит-2, пирит-3, в резко подчиненном количестве присутствует галенит. Методами электронной микроскопии и рентгенографии диагностированы **сульфиды** – акантит Ag_2S , аргентит Ag_2S , **антимониды** – антимонит Sb_2S_3 , **сульфоарсениды** – сарторит $PbAsS_4$, иорданит $Pb_{14}As_7S_{24}$. Специфической особенностью 3-й минеральной ассоциации является присутствие сульфосолей. **Сульфосоли** Cu, Pb, Ag представлены блеклыми рудами мышьяковистого и сурьмянистого ряда – теннантитом $Cu_{12}As_4S_{13}$, тетраэдритом $Cu_{12}Sb_4S_{13}$, пруститом Ag_3AsS_3 , ксантоконитом $AgAsS_3$, пираргиритом Ag_3SbS_3 , стефанитом $AgSbS_4$, геокронитом $Pb_{14}(AsSb)_6S_{29}$, виттитом $(PbAg)_3Bi_6S_{14}$. Отмечаются явно вторичные рудные минералы – скородит, англезит, тригонит, образование которых связано с процессами окисления.

Рис. 2. Метакристаллы арсенопирита 1-й генерации (кристаллы псевдоромбоэдральной, бипирамидально-таблитчатой, призматической формы). РЭМ

Fig. 2. Metacrystals of 1st generation arsenopyrite (pseudorhombohedral, birimidal-tabular, prismatic crystals). SEM.

Пирит 3-й генерации по морфологии выделений и составу мало отличается от пирита 2-й генерации. В основном присутствует в виде порфиروبластов кубической или близкой к ней формы. Гранулярный состав пирита-3 более выдержанный, практически не встречаются мелкие метакристаллы. Как правило, пирит 3-й не содержит включений других минералов. В отличие от пирита 2-й генерации пирит -3 в различной степени подвержен изменению. Наблюдается «расщепление» кристаллов на блоки, выщелачивание поверхности с образованием полостей разной формы и размера, коррозия нерудными минералами.

Для пирита-3 типичен избыток серы и изоморфное вхождение мышьяка в структуру минерала. При этом отношение серы (53.58–53.70 %) к железу (45.90–46.40 %) несколько ниже (2.02–2.04), что, вероятно, связано либо с гидротермальными растворами, менее насыщенными серой, либо с процессами выщелачивания, следы которых явно прослеживаются. В пирите 3-й генерации отмечается наиболее высокое содержание мышьяка, что объясняется многочисленными включениями арсенопирита и блеклых руд. Присутствие никеля и кобальта связано исключительно с их изоморфным вхождением в структуру минерала. Собственных фаз никеля и кобальта не обнаружено. Свинец (0.092–0.145 %) входит в состав галенита. Медь (0.215–0.401 %), вероятно, соотносится с теннантитом.

Арсенопирит 2-й генерации представлен игольчатыми, мелкошестоватыми агрегатами, неравномерно распределенными в породе. Отмечается тенденция к концентрации арсенопирита-2 в пространствах около трещин в кварцевых агрегатах в виде выделений лучистой, звездчатой формы, состоящих из зерен длиннопризматической и игольчатой формы. Иногда арсенопирит 2-й генерации в незначительной степени замещает пирит-2 и арсенопирит-1. Все зерна арсенопирита-2, в отличие от

раннего арсенопирита, «чистые» и не содержат включений других минералов.

По содержанию железа (37.2 %), мышьяка (44.03 %) и серы (18.86 %) арсенопирит 2-й генерации близок к арсенопириту 1-й генерации. Он также имеет нестехиометрический состав ($S + As/Fe = 1.769$). Одинаковое отношение серы к мышьяку ($S/As = 0.428$) в арсенопирите обеих генераций указывает на мышьяковистый состав рудообразующих растворов, отличающихся низкой активностью серы и мышьяка и избытком железа.

В арсенопирите-2 не обнаружены никель и кобальт, но практически постоянно присутствуют свинец (0.064–0.12 %), медь (0.05–0.91 %), серебро (до 1.81 %), сурьма (0.022–0.051 %), иногда отмечаются цинк (0.02%) и висмут (0.028–0.051 %), входящие в состав преимущественно сульфосоей мышьяковистого и сурьмянистого ряда (блеклые руды). Свинец и сурьма частично входят в галенит и антимонит соответственно. Минеральной фазой серебра является акантит. Высокие содержания SiO_2 (3.43–15.03 %), Al_2O_3 (5.04–8.32 %), CaO (до 1.11 %), K_2O (до 0.93 %) связаны исключительно с включениями кварца, полевого шпата, глинистых и карбонатных минералов.

Генерации пирита и арсенопирита, входящие в состав различных минеральных ассоциаций, отличаются друг от друга морфологическими особенностями и составом. Выявленные микронанопарагенезисы рудных минералов в совокупности с другими особенностями пирита и арсенопирита и руд в целом позволили установить элементы вертикальной минералогической зональности, выражающейся в смене рудной минерализации с глубиной оруденения [5]. В нижних горизонтах присутствует первая минеральная ассоциация с типичным гидротермальным микронанопарагенезисом сульфоарсенидов кобальта, никеля. В средних горизонтах отмечается вторая минераль-

Рис. 3. Метакристаллы и порфиробласты пирита 3-й генерации. РЭМ

Fig. 3. Metacrystals and porphyroblasts of 3d generation pyrite. SEM

ная ассоциация, отличающаяся полным отсутствием сульфидов Ni, Co, ограниченным количеством арсенидов и сульфоарсенидов, появлением блеклой руды. В верхних горизонтах только двух скважин встречается третья минеральная ассоциация с антимонидами, висмутидами, сульфосолями сложного состава Cu, Pb, Ag, появление которых свидетельствует о снижении температур минералообразования к концу процесса и закономерной смене ассоциаций с изменением типоморфных особенностей рудных минералов.

В рудах месторождения Маломыр установлено самородное золото размером 0.003–0.07 мм [4]. Значительно реже встречается золото размером 0.1–1.5 мм, приуроченное к межзерновому пространству и мелким трещинам в кварце и сульфидах, обычно имеющее пластинчатую форму. Внешне однородные пластинки золота имеют блочное микростроение. Свободных зерен золота не наблюдается, практически всегда отмечаются сростки. Пробность золота 800.

Проведенные исследования позволили выявить и определить форму нахождения тонкодисперсного золота и характера его взаимоотношений с минералами. Установлено, что главным образом оно связано с минералами второй продуктивной ассоциации. Золото присутствует в слоистых алюмосиликатах, кварце, углеродистом веществе и рудных минералах — пирите и арсенопирите.

В сфалерит-арсенопирит-пиритовой ассоциации золото относится к пириту 2-й генерации, в котором образует индивидуализированные зерна микронанометровой размерности, округлой изометричной и неправильной формы. Отмечается явная приуроченность золота к границам зерен, микротрещинам и микродислокационным нарушениям. Самородное золото непосредственно в арсенопирите 2-й генерации встречается весьма редко, имеет неправильную округлую форму и приурочено в основном к границам зерен.

Особо следует остановиться на локализации самородного золота на поверхности зерен пирита-2.

На сколе зерен пирита фиксируются тончайшие округлые образования, нередко приобретающие подобие огранки (рис. 4, а). Иногда отмечаются неравномерно распределенные агрегаты самородного золота, тяготеющие к краевым зонам кристаллов, сформированные зернами кубической, реже округлой и слабоудлиненной формы, размер которых обычно варьирует в пределах 10–100 нм. Самородное золото, наблюдаемое на поверхности зерен пирита, характеризуется относительно хорошей степенью раскристаллизации. Значительно реже фиксируются тончайшие островковые пленочные образования, размеры которых, как правило, составляют первые десятки нанометра (рис. 4, б). Локализацию золота на гранях и сколах пирита ранее отмечал Р. А. Амосов с соавторами [1]. Можно предположить, что концентрация золота происходила в ослабленных зонах за счет наложения на уже сформированный пирит более поздних порций гидротермальных растворов, обогащенных золотом.

Видимо, следует согласиться с мнением Б. С. Андреева [2], что при формировании рудной минерализации перераспределение золота постепенно нарастает и достигает максимума в продуктивной второй ассоциации. Перегруппировка, в данном случае пирита и золота, происходит синхронно, тонкодисперсные включения самородного золота не выходят за пределы зерен пирита. Дальнейшее развитие рудной минерализации в сторону золотосульфидно-кварцевого комплекса приводит к смене характера связи золота и пирита. В результате перераспределения золото выходит за пределы зерен пирита. Поэтому в пирите 3-й генерации содержание золота незначительно, присутствует оно также в виде округлых изометричных и неправильных зерен. Нередко пирит вообще не содержит золота. Установлено, что участки пирита, в которых концентрируется золото, практически всегда обогащены медью и свинцом, иногда цинком, нередко серебром.

Рис. 4. А. Зерно пирита 2-й генерации с тонкодисперсным золотом. Кольцевая микродифракционная картина самородного золота с отдельными отражениями пирита. Б. Островковое пленочное образование слабоякокристаллизованного самородного золота на поверхности скола пирита. Кольцевая диффузная микродифракционная картина самородного золота. ПЭМ

Fig. 4. A. Grain of 2nd generation pyrite with fine gold. Circular microdiffraction pattern of native gold with individual reflections of pyrite. Б. Island film of poorly crystallized native gold on pyrite cleavage surface. Circular diffuse microdiffraction pattern of native gold. TEM

Закключение

Золотосульфидные руды месторождения Маломыр отличаются сложным морфоструктурным составом. Рудные минеральные ассоциации характеризуются своеобразными текстурно-структурными рисунками, постоянным набором рудных минералов, строго фиксируемым в каждой ассоциации, распределением в них тонкодисперсного золота и соответствуют подстадиям рудной стадии гидротермально-метасоматического процесса.

Тонкодисперсное самородное золото присутствует в пирите, арсенопирите, кварце, слоистых силикатах и углеродистом веществе в виде выделений микро- и нанометрической размерности. Основная часть золота связана с минералами второй продуктивной сфалерит-арсенопирит-пиритовой ассоциации.

Гранулярный состав самородного золота и характер его локализации в рудных минералах позволяют отнести золотосульфидные руды к упорным, извлечение золота из которых может быть связано только с биохимическим выщелачиванием.

Литература

1. Амосов Р. А., Бочек Л. И., Русинова О. В. Требования к минералогической изученности месторождений золота. М.: ЦНИГРИ, 1985. 74 с.
2. Андреев Б. С. Пирит золоторудных месторождений М.: Наука, 1992. 143 с.
3. Буряк В. А. Метаморфизм и рудообразование. М.: Недра, 1982. 256 с.
4. Буряк В. А., Перестороние А. Е. Маломыр – первое крупное золоторудное месторождение сухоложского типа в Приамурье. Благовещенск – Хабаровск: ИКАРП ДВО РАН. 2000. 48 с.
5. Вертикальная минералогическая зональность золото-сульфидного оруденения месторождения Маломыр / Д. О. Ожогин, Н. И. Орлова, Н. Г. Власов и др. // Разведка и

охрана недр. 2008. № 8. С. 16–21.

6. Власов Н. Г., Ожогин Д. О., Орлова Н. И. Минералогия первичных и вторичных руд месторождения Маломыр // Золото и технологии. 2009. № 3 (6). С. 40–42.

7. Конев Р. И. Наноминералогия золота эпитеpмальных месторождений Чаткало-Кураминского региона (Узбекистан). СПб.: Дельта, 2006. 218 с.

8. Ожогин Д. О. Роль аналитической электронной микроскопии при технологической оценке минерального сырья // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2008. № 7. С. 391–396.

9. Микро- и нанопарагенезисы Сухого Лога как показатели генезиса руд / В. Л. Таусон, А. М. Спиридонов, Э. А. Развозжаева и др. // Минералогическая интервенция в микро- и наномир: Материалы международного минералогического семинара. Сыктывкар, 2009. С. 329–332.

References

1. Amosov R. A., Bocek L. I., Rusinova O. V. *Trebovaniya k mineralogicheskoi izuchennosti mestorozhdenii zolota* (Requirements for mineralogical studies of gold deposits). Moscow, CNIGRI, 1985, 74 pp.
2. Andreev B. S. *Pirit zolotorudnyh mestorozhdenii* (Pyrite of gold deposits). Moscow, Nauka, 1992, 143 pp.
3. Buryak V. A. *Metamorfizm i rudoobrazovanie* (Metamorphism and ore formation). Moscow, Nedra, 1982, 256 pp.
4. Buryak V. A., Perestoronie A. E. *Malomyr – pervoe krupnoe zolotorudnoe mestorozhdenie suholozhskogo tipa v Priamure* (Malomr – first large gold deposit of suholozhsky type in Amur region). Blagoveschensk-Khabarovsk, IKARP DVO RAS, 2000, 48 pp.
5. *Vertikalnaya mineralogicheskaya zonalnost zoloto-sulfidnogo orudeneniya mestorozhdeniya Malomyr* (Vertical mineralogical zonality of gold-sulphide mineralization of Malomyr deposit). D. O. Ozhogin, N. I. Orlova, N. G. Vlasov et al. *Razvedka i ohrana nedr*, 2008, No. 8, pp. 16–21.

6. Vlasov N. G., Ozhogin D. O., Orlova N. I. *Mineralogiya pervichnyh i vtorichnyh rud mestorozhdeniya Malomyr* (Mineralogy of primary and secondary ores of Malomyr deposit). *Zoloto i tehnologii*, 2009, No. 3 (6), pp. 40–42.

7. Koneev R. I. *Nanomineralogiya zolota epitermalnyh mestorozhdenii Chatkalo-Kuraminskogo regiona (Uzbekistan)* (Nanomineralogy of gold from epithermal deposits of Chatkal-Kuraminsk region (Uzbekistan)). S-Petersburg, Delta, 2006, 218 pp.

8. Ozhogin D. O. *Rol analiticheskoi elektronnoi mikroskopii pri tehnologicheskoi otsenke mineralnogo syrya* (Role of analytical

electron microscopy at technological evaluation of mineral raw). *Gornyi informatsionno-analiticheskii byulleten*. 2008, No. 7, pp. 391–396.

9. *Mikro- i nanoparagenezisy Suhogo Loga kak pokazateli genezisa rud* (Micro- and nanoparageneses of Sukhoy Log as indicators of ore genesis). V. L. Tauson, A. M. Spiridonov, E. A. Razvozhayeva et al. *Mineralogicheskaya interventsia v mikro- i nanomir*. Proceedings. Syktyvkar. 2009, pp.329–332.