

На правах рукописи

Ожогин Денис Олегович

**НАНОМИНЕРАЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ
ЗОЛОТО-СУЛЬФИДНЫХ РУД МЕСТОРОЖДЕНИЯ МАЛОМЫР**

Специальность 25.00.05 – минералогия, кристаллография

Автореферат диссертации на соискание ученой степени
кандидата геолого-минералогических наук

Москва, 2009

Работа выполнена во Всероссийском научно-исследовательском институте минерального сырья им. Н.М.Федоровского (ФГУП «ВИМС»)

Научный руководитель доктор геолого-минералогических наук

Дубинчук Виктор Тимофеевич

Официальные оппоненты

доктор геолого-минералогических наук

Минеева Инесса Георгиевна

доктор геолого-минералогических наук

Викентьев Илья Владимирович

Ведущая организация – Институт геологии Кольского НЦ РАН

Защита состоится «09» октября 2009 г. в 11.00 на заседании диссертационного совета Д.216.005.01 во Всероссийском научно - исследовательском институте минерального сырья им. Н.М. Федоровского (ФГУП «ВИМС») по адресу: 119017, г. Москва, Старомонетный пер., д. 31.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГУП «ВИМС»

Автореферат разослан «___» сентября 2009 г.

Ученый секретарь диссертационного совета,
кандидат геолого-минералогических наук

Шурига Т.Н.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. Среди стратегических видов минерального сырья золото традиционно занимает лидирующее положение. Сегодня Россия находится на третьем месте в мире по запасам золота после ЮАР и США. Больше половины отечественных запасов золота (53% или 4,3 тыс. т) сосредоточено в коренных месторождениях [Беневольский, 2006], с которыми, начиная с 2001 года, связаны основные перспективы его добычи. Особый интерес представляют золото-сульфидные руды, с которыми связано более 40% мировых запасов металла [Матвеева и др., 2005], присутствующего преимущественно в тонкодисперсной форме в сульфидах (пирите, пирротине, арсенопирите, халькопирите и т.д.). Именно к этому типу относятся первичные руды месторождения Маломыр.

Необходимо отметить, что окисленные руды месторождения Маломыр успешно обогащаются методом кучного выщелачивания, позволяющим извлекать от 70% до 98% золота. Технология переработки первичных руд до сих пор находится в стадии разработки, что обусловлено высокой упорностью в них золота. Для создания эффективных технологий извлечения тонкодисперсного (упорного) золота необходима минералогическая информация о рудах и слагающих их минералах, в частности формах нахождения тонкодисперсного золота и характере его локализации в минералах, а также особенностях состава и строения непосредственно золотосодержащих минералов. Глубоких минералогических исследований золото-сульфидных руд месторождения Маломыр, позволяющих получить подобную информацию, ранее не проводилось. Изучение руд ограничивалось определением рудообразующих минералов, их морфологических особенностей и формы нахождения золота. При этом, тонкодисперсное золото не являлось предметом исследования [Буряк, Пересторонин, 2000; Моисеенко, 1977].

Цель исследования – выявление форм нахождения тонкодисперсного золота и особенностей его локализации в минералах золото-сульфидных руд месторождения Маломыр.

Для достижения поставленной цели решались следующие **задачи**.

1. Усовершенствование существующих методов и разработка новых способов препарирования образцов для электронно-микроскопического исследования наноразмерного золота и особенностей состава и строения содержащих его минералов.

2. Использование метода полевой ИК-спектроскопии для проведения экспрессной разбраковки потенциальных золотосодержащих пород.

3. Изучение характера взаимоотношения рудных минералов, особенностей состава и строения золотосодержащих пирита и арсенопирита – главных минералов золото-сульфидных руд.

4. Выявление формы нахождения тонкодисперсного золота и характера его распределения в рудообразующих минералах.

Фактический материал. Объектом диссертационного исследования являлись прожилково-вкрапленные золото-сульфидные руды месторождения Маломыр на этапе его детальной разведки. Непосредственные объекты исследований – керн скважин, каменный материал, отобранный из канав, траншей и борозд.

Работа выполнена во Всероссийском научно-исследовательском институте минерального сырья им. Н.М.Федоровского. Каменный материал для исследований отобран соискателем во время полевых работ 2006-2008 г.г. на месторождении Маломыр (участки Маломыр, Кварцитовый и Ожидаемый).

В работе использованы результаты более 1000 полевых определений ИК-спектров руд и вмещающих пород, более сотни петрографических и минераграфических анализов, включающих определение отражения, микротвердости, а также термоЭДС рудных минералов (к.г.-м.н. Викулова Л.П., Кривошеков Н.Н.), порядка 100 рентгенографических (Шувалова Ю.Н.) и 20 химических анализов, выполненных в Центральной пробирно-аналитической лаборатории ОАО «Покровский рудник» (г. Благовещенск). Методами аналитической электронной микроскопии выполнено более 900 анализов, в том числе методом растровой электронной микроскопии изучено 750 объектов, и около 150 препаратов проанализировано методом просвечивающей электронной микроскопии, практически во всех случаях применялся микродифракционный анализ.

Научная новизна работы

1. Впервые в золото-сульфидных рудах установлено тонкодисперсное самородное золото (размером 5-10 нм), приуроченное к сульфидной минерализации.

2. Впервые в золото-сульфидных рудах выявлены три генерации пирита и две генерации арсенопирита, содержащие золото, и определены их типоморфные свойства.

3. Впервые в рудах месторождения Маломыр обнаружены моховидные агрегаты марказит-пиритового состава, структуры распада твердого раствора сфалерита и халькопирита, идентифицированы арсениды, сульфоарсениды и сульфосоли меди, серебра и свинца.

4. Установлены элементы вертикальной минералогической зональности золото-сульфидного оруденения.

Практическая значимость

1. Усовершенствованы существующие методики и разработаны новые способы препарирования образцов для электронно-микроскопических исследований, позволяющие получать качественные препараты для выявления и идентификации тонкодисперсных фаз, в том числе золота.

2. Выявлены минеральные ассоциации руд и генерации золотосодержащих пирита и арсенопирита, позволяющие определить стадийность гидротермально-метасоматического рудообразования и установить элементы вертикальной минералогической зональности оруденения.

3. Определение самородного тонкодисперсного золота и характера его локализации в рудообразующих минералах позволяет прогнозировать технологию извлечения металла.

4. Результаты минералогических исследований использованы при разработке кондиций и подсчете запасов.

Личный вклад автора заключался в документации и отборе проб для минералогических исследований, проведении полевого анализа руд и пород методом ИК-спектроскопии, а также проведении всего комплекса электронно-микроскопических исследований конкретных минералов и руд в целом. Автор принимал непосредственное участие в минералогических работах (от полевых работ до написания отчетов) в рамках договорных тем института с ОАО «Покровский рудник».

Апробация работы и публикации. Результаты исследований и основные положения диссертационной работы докладывались и обсуждались на «Неделе горняка» (Москва, 2007, 2008 гг.), на VI Конгрессе обогатителей стран СНГ (Москва, 2007), на VIII Международной конференции «Новые идеи в науках о Земле» (Москва, 2007), на Плаксинских чтениях – 2007» (Апатиты, 2007), на 4-ой научной молодежной школе «Проблемы освоения недр в XXI веке глазами молодых» (Москва, 2007, отмечен грамотой за лучший доклад), на II и III Российских семинарах по технологической минералогии (Петрозаводск, 2007, 2008 г.г.), конференции «Минерально-сырьевая база черных, легирующих и цветных металлов России и стран СНГ: проблемы и пути развития» (Москва, 2008), годовом собрании Московского отделения РМО (Москва, 2007), Международном минералогическом семинаре «Структура и разнообразие минерального мира» (Сыктывкар, 2008), Межвузовской научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Молодые-наукам о Земле» (Москва, 2008), научной конференции, посвященной 100-летию со дня рождения Ф.В.Чухрова (Москва, 2008), на научно-практической конференции молодых ученых и специалистов «Актуальные проблемы геологического изучения недр и воспроизводства минерально-сырьевой базы твердых полезных ископаемых» (Москва, 2008).

По теме диссертации опубликовано 16 работ, в том числе две статьи в реферируемых журналах:

Структура, объем и содержание работы. Работа состоит из введения, пяти глав, заключения и списка цитируемой литературы (136 наименований). Общий объем работы составляет 110 страниц, в том числе 49 рисунков и 6 таблиц. Во **введении** обоснована актуальность, обозначены цель и задачи работы, показана новизна и практическая значимость проведенных исследований, сформулированы защищаемые положения. В **первой главе** проведен анализ существующей информации по типоморфизму сульфидов золоторудных месторождений и форме нахождения в них тонкодисперсного золота. Во **второй главе** приведен краткий геологический очерк месторождения Маломыр. **Третья глава** посвящена особенностям исследования минералов и руд, способам препарирования образцов для проведения электронно-микроскопического изучения. В **четвертой главе** рассмотрены минеральный состав и строение золото-сульфидных руд, выявлены минеральные ассоциации, установлены типоморфные особенности пирита и арсенопирита. В **пятой главе** описана форма нахождения тонкодисперсного золота в рудообразующих минералах, определяющая технологию его извлечения. В заключении обобщены основные научные и практические результаты работы.

Автор признателен научному руководителю, доктору геолого-минералогических наук В.Т.Дубинчуку. Автор искренне благодарен своим учителям кандидату геолого-минералогических наук Л.П.Викуловой, кандидату географических наук Н.И.Орловой, кандидату геолого-минералогических наук В.В.Ружицкому, доктору геолого-минералогических наук Э.М.Спиридонову, которые способствовали становлению автора как исследователя. За постоянную помощь, внимание и поддержку на протяжении всей работы автор глубоко признателен докторам геолого-минералогических наук О.Б.Котовой и Б.И.Пирогову. За помощь в выполнении исследований автор благодарит А.И.Федотова, Н.Н.Кривошекова, Ю.Н.Шувалову. За обсуждение основных положений и полезные замечания автор признателен кандидатам геолого-минералогических наук

Г.К.Кривоконевой, Н.И.Чистяковой, Н.В.Скоробогатовой и доктору геолого-минералогических наук И.И.Куприяновой. Автор считает своим долгом выразить искреннюю благодарность руководству «УК Питер Хамбро Майнинг» и геологам предприятия «Регис» за предоставление геологических материалов и помощь в проведении полевых работ. Автор также благодарен сотрудникам РИЦа и руководителю этого подразделения ВИМСа, кандидату геолого-минералогических наук Н.Г.Беляевской за помощь в оформлении диссертации.

Несмотря на значительное количество литературных данных по типоморфизму в основном пирита золоторудных месторождений [Андреев,1992; Викулова и др.,1980; Евзикова,1984; Павлишин и др., 2004; Прохоров, 1970; Юргенсон, 2003 и др.], в настоящее время практически не существует достаточно надежных минералогических поисково-оценочных критериев, базирующихся на этих данных. Можно говорить только об общих закономерностях пространственно-временной изменчивости состава и свойств пирита, которые нельзя считать универсальными для золоторудных месторождений в целом. Применение современных физических методов исследования позволяет получить новую информацию о сульфидах золоторудных объектов уже с точки зрения их микро-наноминералогических особенностей. Это в свою очередь дает возможность уточнить представления о генезисе минералов и руд, источнике рудных элементов; выявить новые поисковые критерии и прогнозировать масштаб оруденения [Марин, 2009].

Важное прикладное значение имеет форма нахождения золота в пирите и арсенопирите, определяющая технологию его извлечения из золото-сульфидных руд. В настоящее время большинство исследователей [Конеев, 2006, 2009; Моисеенко, 2009; Новгородова, 1983; Петровская, 1973; Туресебеков и др., 2009 и др.] основной формой нахождения тонкодисперсного золота в сульфидах считают самородное золото, присутствующее в виде самостоятельной фазы микро-нанометровой размерности. Наряду с самородным золотом рассматриваются и другие формы его нахождения. В работах ряда исследователей [Бортников и др., 2003; Викентьев и др., 2008; Генкин, 1998, Генкин и др., 2002] доказывается, что в пирите и арсенопирите золото может присутствовать в изоморфной форме. По мнению Н.С.Бортникова с соавторами [Бортников и др., 2003], именно химически связанное в сульфидах золото играет существенную роль в его балансе в рудах.

Новая информация о форме нахождения золота в сульфидах, особенностях их реального состава и строения должна не только дополнить теорию рудообразования, но и способствовать созданию эффективных технологий извлечения золота.

КРАТКИЙ ГЕОЛОГИЧЕСКИЙ ОЧЕРК МЕСТОРОЖДЕНИЯ МАЛОМЫР

Золоторудное месторождение Маломыр расположено в Селеджимском районе Амурской области в 80 км к западу от районного центра п. Экимчан и в 100 км западнее Токурского месторождения. В 120 км от месторождения находится железнодорожная станция Февральск Байкало-Амурской магистрали.

Месторождение Маломыр входит в состав Верхнеселемджинского золотоносного района, занимающего западную часть Приохотского звена Амуро-Охотской

геосинклинально-складчатой системы. В плане региональных структур Маломирское рудное 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 [Буряк, Пересторонин, 2000].

Комплекс континентально-осадочных метаморфизованных отложений отнесен к златоустовской свите среднего карбона (C₂Zl) и представлен переслаиванием кварц-полевошпат-сланцевых, кварц-сланцевых, хлорит-полевошпат-кварцевых, слюдисто-кварцевых сланцев с редкими прослоями кварцитов. Породы интенсивно окварцованы и серицитизированы. Локально присутствуют серицит-карбонат-кварцевые метасоматиты в центральной части Маломирского участка.

Рудные тела представляют собой зоны прожилковой, прожилково-вкрапленной и вкрапленной золото-сульфидной и тонко-прожилковой и прожилково-сетчатой золото-кварцевой 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). Золото-сульфидное оруденение локализовано во внутренних частях ореолов развития кварц-серицитовых метасоматитов, распространение которых контролируется многочисленными тектоническими нарушениями, и приурочено, главным образом, к интенсивно раздробленным, часто брекчированным образованиям.

ЗАЩИЩАЕМЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ И ИХ ОБОСНОВАНИЕ

1. Разработаны новые способы приготовления препаратов, позволяющие получать качественные комбинированные (одноступенчатые и двухступенчатые) реплики для исследования форм нахождения, особенностей морфологии и кристаллического строения тонкодисперсных выделений золота методами аналитической электронной микроскопии.

Отличительной чертой современной минералогии руд золота можно считать ее переход к исследованиям минералов на уровне наноразмерности [Конеев, 2006; Таусон и др., 2009], которые позволяют установить форму нахождения золота, определить анатомию минеральных индивидов, количественно оценить типоморфные признаки золотосодержащих минералов.

Минералогические особенности золото-сульфидных руд месторождения Маломир и ограниченные данные о форме нахождения и распределения в них золота определили методику изучения. Основной упор был сделан на изучение состава и строения рудных минералов и руд в целом методами аналитической электронной микроскопии, которые сегодня являются не только основой фундаментальных исследований, но и массовыми аналитическими и контрольно-измерительными методами при изучении тонкодисперсных объектов. Исследования проводились на растровом электронном микроскопе Tesla-301B (Словакия) с микрорентгеноспектральной приставкой и просвечивающих электронных

микроскопах Tesla-540В (Словакия) и Tecnai-12В (Голландия). Идентификация минеральных фаз осуществлялась микродифракционным методом.

Успех электронно-микроскопического анализа на 90 % зависит от качества препаратов, поэтому для получения достоверной информации о рудах и форме нахождения в них тонкодисперсного золота потребовалось разработать новые способы приготовления препаратов из пирита и арсенопирита. Разработанный способ приготовления комбинированных двухступенчатых реплик, включающий напыление угольной пленки на поверхность выбранного материала, закрепленного с помощью клея или запрессованного в пластмассу, нанесение желатины, после высыхания которой, капля желатины отделялась от образца и проводилась механическая очистка поверхности желатины от обильно извлеченных частиц. В процессе очистки происходит частичный отрыв угольной пленки от желатина, но слепок и иногда мелкие извлеченные частицы на поверхности желатины остаются, поэтому проводится повторное напыление угля на очищенную поверхность. В итоге получается качественный препарат, который позволяет избежать ошибок при интерпретации результатов анализа.

При изучении минералов и руд методом растровой электронной микроскопии были внесены коррективы в существующую методику исследования, связанные со спецификой изучаемого объекта (тонкодисперсного золота).

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) в результате которых определены текстурно-структурные признаки и минеральный состав руд, установлены минеральные ассоциации и генерации рудных минералов. В полевых условиях ИК-спектроскопическим методом (полевой инфракрасный спектрометр Pima-II, Австралия) была предпринята попытка грубой разбраковки пород и руд, которые потенциально могут содержать золото.

2. Главные золотосодержащие минералы пирит и арсенопирит представлены тремя и двумя генерациями соответственно, отличающимися кристалломорфологическими особенностями, составом, микро-нанопарагенезисами, концентрацией золота, микростроением. Установлены стадийность минералообразования и элементы вертикальной зональности оруденения.

Золото-сульфидные руды месторождения Маломыр по своему образованию полигенны. Современный облик руд сформировался в результате гидротермально-метасоматического процесса и последующих преобразований [Буряк, 1982; Буряк, Пересторонин, 2000]. 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, одновременными минеральными ассоциациями и генерациями рудных минералов, типом распределения в них самородного золота. При этом руды являются полиминеральными, состоящими из 80 минералов, более тридцати из которых идентифицированы в них впервые.

Изучение текстурно-структурного рисунка руд, изменяющегося под воздействием гидротермально-метасоматического процесса, позволило выделить три рудные

минеральные ассоциации рудной стадии: марказит-пиритовую, сфалерит-пирит-арсенопиритовую и пирит-арсенопиритовую.

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 0,01мм. Структура руд фрамбоидная, колломорфная (реликтовая) и гранобластовая. Руды в разной степени катаклазированы и брекчированы, поэтому для них в целом характерны структуры смятия, дробления, катаклаза, развальцевания.

Главным рудным минералом ассоциации является пирит I 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 , катиерит $CoFeNiS_2$; **арсениды** – никелин $NiAs$, леллингит $FeAs_2$, раммельсбергит $NiAs_2$; **сульфоарсениды** – герсдорфит $NiAsS$, кобальтин $CoAsS$, образующие микро- и нановключения в пирите.

Пирит I генерации представлен тонкой сыпьевидной и пылевидной вкрапленностью с явно выраженной тенденцией к сегрегации, реже присутствуют почковидные образования (рис. 1). В ассоциации с пиритом всегда отмечается марказит. Сопоставляя отдельные фрагменты и детали структурной перегруппировки пирита, можно говорить об его последовательной перекристаллизации – от беспорядочно тонко-рассеянных зерен («пыли») до индивидов с четкими кристаллографическими очертаниями, что приводит к образованию гранобластовых агрегатов.

Особый интерес представляют моховидные марказит-пиритовые агрегаты. По мнению П. Рамдора, моховидные выделения, имеющие колломорфное и метаколлоидное строение, представляют собой реликты, первоначальная природа которых всегда затушевана. Появление моховидных агрегатов в рудах, видимо, связано с присутствием агрегативных скрытокристаллических скоплений слабо индивидуализированного материала – пирит+марказит, возможно пирит+мельниковит, пирротин+марказит+пирит с выделением магнетита и примесью углеродистого вещества.

Тонкодисперсное самородное золото обнаружено в марказит-пиритовых агрегатах и непосредственно в пирите I генерации. Единичные выделения тонкодисперсного золота определяют низкую золотоносность пирита этой ассоциации.

Сфалерит-арсенопирит-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 II и арсенопирита I. Структура руд гранобластовая, порфиробластовая.

Главными рудными минералами II минеральной ассоциации являются пирит II генерации и арсенопирит I генерации. В резко подчиненном количестве, обычно в виде

включений в главных рудных минералах присутствуют сфалерит II генерации (клеюфан) и халькопирит II генерации. Методами электронной микроскопии и рентгенографии обнаружены *арсениды и сульфоарсениды Ni, Co*, среди которых преобладают Со-кобальтин (CoAsS) и коринит (NiCo(AsSb)S), а также *As-разновидность блеклых руд* – теннантит (Cu₁₂As₄S₁₃), образующие тонкие включения в рудных минералах.

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

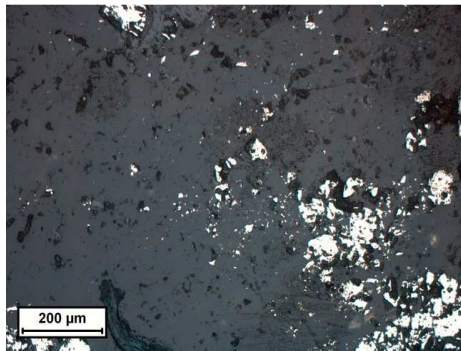
Метасоматический генезис порфиробластических выделений пирита II подтверждают каемки обрастания (рис. 3) – стебельчатые, ленточные, чешуйчатые, волокнистые агрегаты, состоящие из кварца, слюды с переменным содержанием анкерита и альбита. Рост агрегатов связан с перекристаллизацией вмещающей породы вокруг пирита при одностороннем давлении, т.е. происходит новообразование в «тнях давления».

Арсенопирит I генерации присутствует в виде метакристаллов размером от 0,01 до 0,2 мм в ассоциации с пиритом II генерации (рис. 4 а). Отличительным признаком арсенопирита I генерации является правильная форма кристаллов – псевдоромбоэдральная (рис. 4 б), реже бипирамидально – таблитчатая и короткопризматическая. Нередко фиксируется наличие крестообразных и звездчатых двойников и тройников (рис. 5). Арсенопирит I генерации содержит значительное количество микровключений рудных и породообразующих минералов. Для метакристаллов арсенопирита I также типичны каемчатые ободки, сформированные слюдой и кварцем, образованные в «тнях давления».

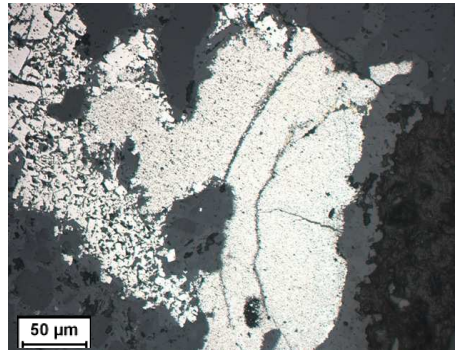
Характерной особенностью является неравномерное замещение арсенопиритом I пирита. При этом образуются кристаллы панидиоморфной формы и метакристаллы арсенопирита I (рис. 6). Электронно-микроскопическим анализом подтверждено, что кристаллы арсенопирита I генерации зарождаются в пирите II генерации.

С пиритом II и арсенопиритом I главным образом связано тонкодисперсное золото. Оно присутствует в порфиробластах пирита II, нередко приурочено к границам зерен. В пирите присутствует в непосредственной близости с вновь образованными кристаллами арсенопирита. Также встречается в нерудных минералах этой ассоциации.

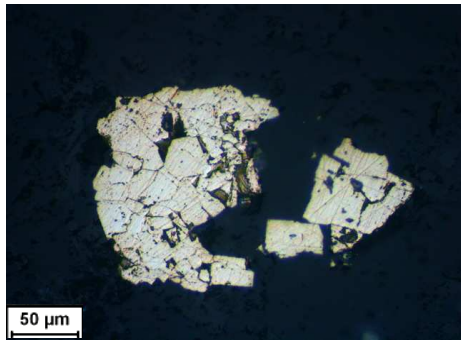
Арсенопирит-пиритовая минеральная ассоциация присутствует только в верхнем горизонте скважин 38-Н, 30-Н. Вмещающими являются метасоматические породы кварцевого, полевошпат-кварцевого и реже карбонатного состава. Руды имеют прожилково-вкрапленную текстуру. Прожилковые и гнездовидные рудные обособления достигают размера 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.



а



б

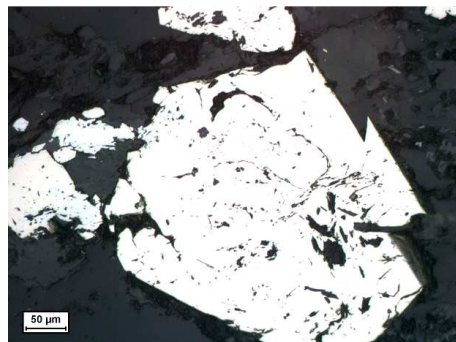


в

Рис. 1. а. Сегрегация тонковкрапленного пирита. Отраженный свет, николи параллельны. б. Фрагмент почковидного выделения с элементами концентрической зональности марказит-пиритового состава. Отраженный свет, николи параллельны. в. Почковидное выделение пирита. Отраженный свет, николи параллельны.

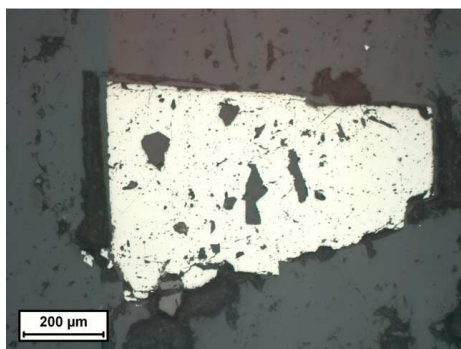


а

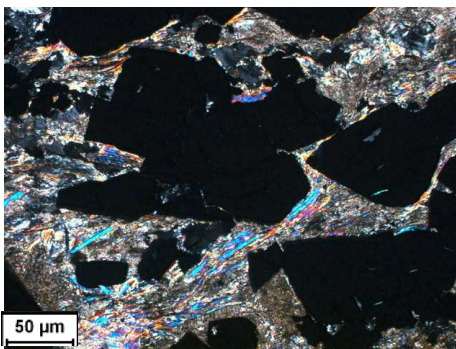


б

Рис. 2. а. Ситовидное строение пирита II генерации. Отраженный свет, николи параллельны. б. Реликты пирита I генерации в пирите II генерации. Отраженный свет, николи параллельны.

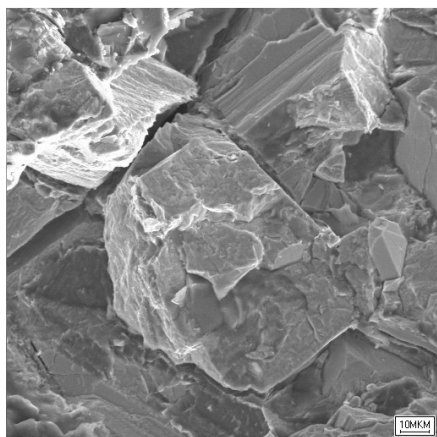


а

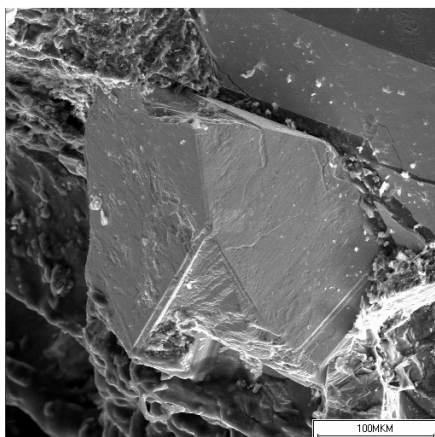


б

Рис. 3. а. Кайма слюды (тени давления) по краю порфиробласта пирита II генерации с включениями породообразующих фаз. Отраженный свет, николи параллельны. б. Ободки слюды вокруг зерен пирита. Проходящий свет, николи скрещены.

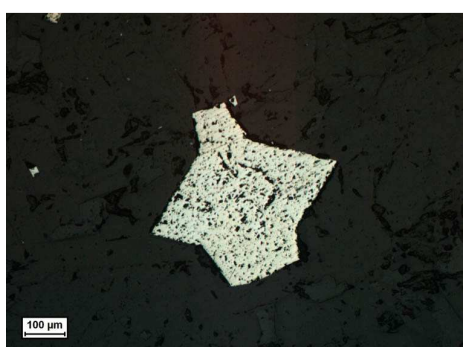


а

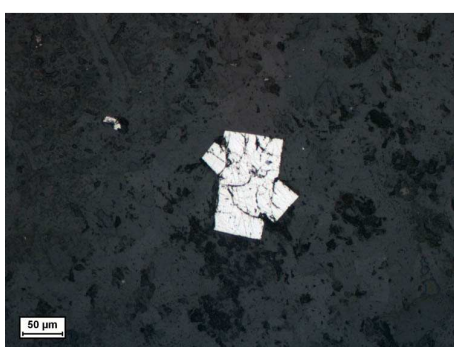


б

Рис. 4. а. Сrostок арсенипирита и пирита. б. Кристалл арсенипирита. РЭМ.

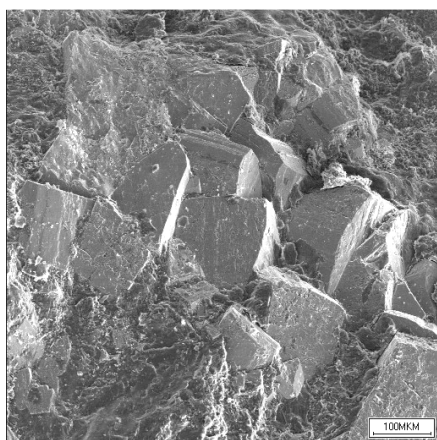


а



б

Рис. 5. а. Двойниковый crostок арсенипирита. б. Крестообразный двойник арсенипирита. Отраженный свет, николи параллельны.

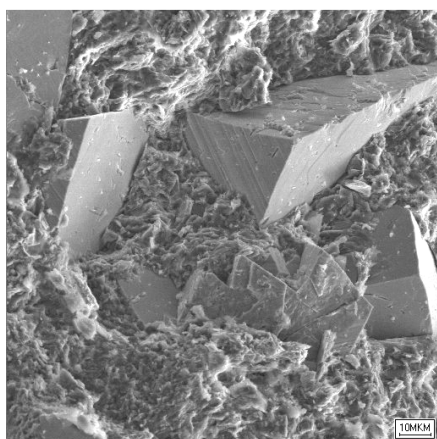


а

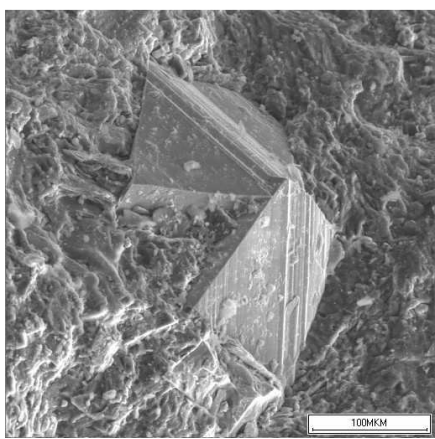


б

Рис 6. а, б. Мета-кристаллы пирита III генерации. РЭМ.

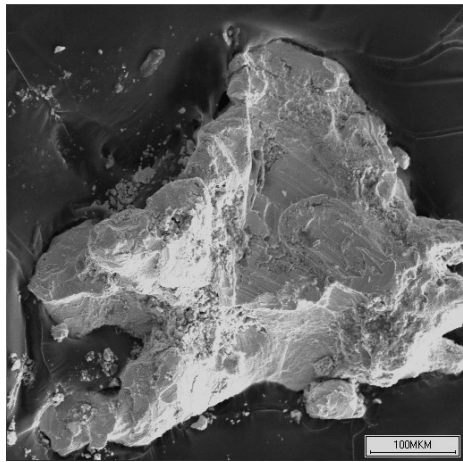


а

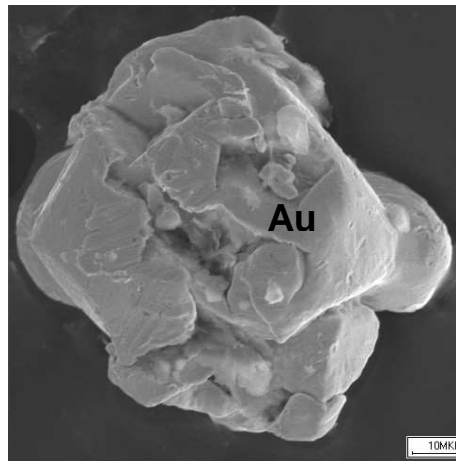


б

Рис. 7. а, б. Метакристаллы арсенипирита II генерации (кристаллы псевдоромбоэдральной, бипирамидально-таблитчатой, призматической формы). РЭМ.



а



б

Рис. 8. а, б. Выделения самородного золота пластинчатого микростроения Ag Au 20.83 79.17.

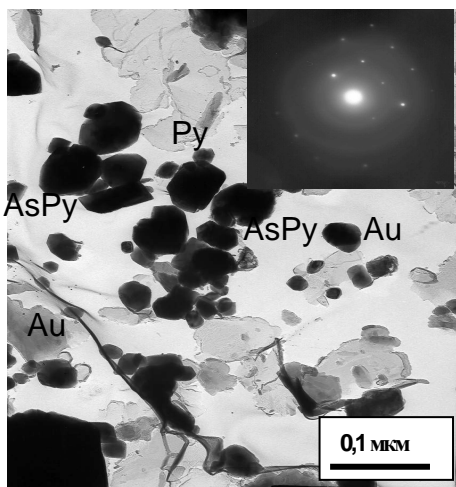


Рис 8. Арсенопирит призматической формы и самородное золото в пирите II генерации. Реплика с извлечением. С частички самородного золота получена микродифракционная картина.

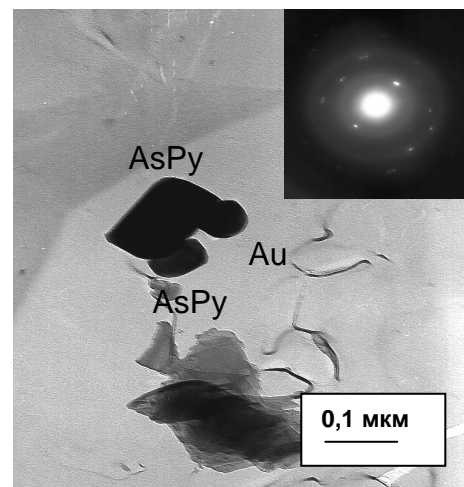


Рис 9. Арсенопирит призматической формы и самородное золото в пирите II генерации. Реплика с извлечением. С частички самородного золота получена микродифракционная картина

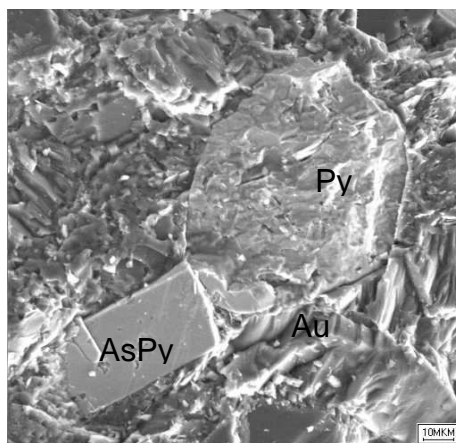


Рис. 10. Золото на границе зерен пирита и арсенопирита.

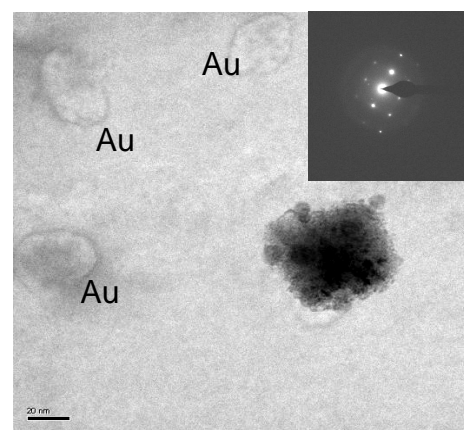


Рис. 11. Тончайшие округлые образования самородного золота. Реплика с поверхности скола зерна пирита. Монокристалльная микродифракционная картина самородного золота с извлеченной на реплику частицы.

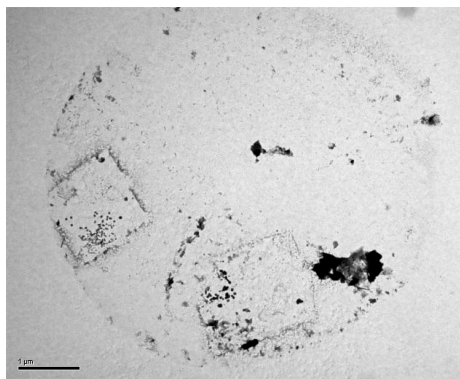


Рис. 12. Сколы пирита кубической формы с неравномерно распределенным самородным золотом. ПЭМ

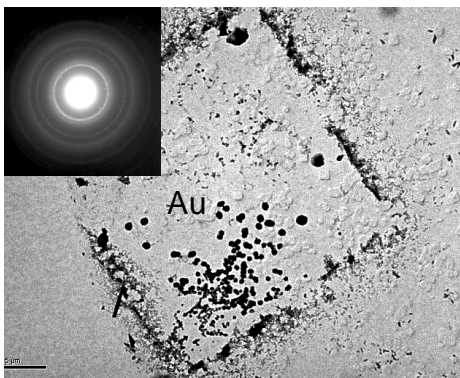


Рис. 13. Крупный план зерна пирита II генерации с тонкодисперсным золотом. Кольцевая микродифракционная картина самородного золота с отдельными отражениями пирита. ПЭМ

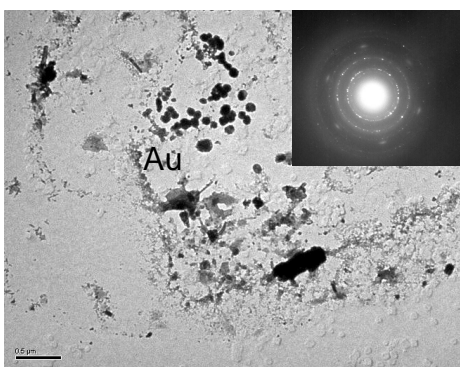


Рис. 14. Крупный план зерна пирита с уплощенными кубическими выделениями самородного золота. ПЭМ

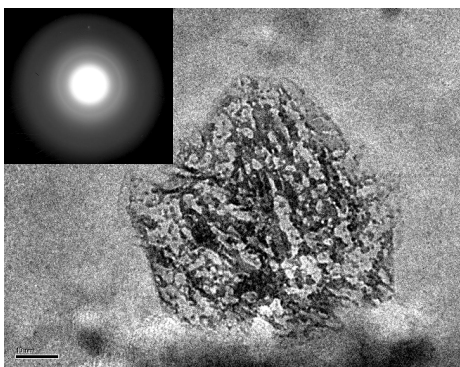


Рис. 15. Островковое пленочное образование слабо раскристаллизованного самородного золота на поверхности скола пирита. Кольцевая диффузная микродифракционная картина самородного золота. ПЭМ

Главными рудными минералами являются арсенопирит II, пирит III, 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**- сартолит PbAsS_4 , иорданит $\text{Pb}_{14}\text{As}_7\text{S}_{24}$. Специфической особенностью III минеральной ассоциации является присутствие сульфосолей. **Сульфосоли** Cu, Pb, Ag представлены блеклыми рудами мышьяковистого и сурьмянистого ряда – теннантитом $\text{Cu}_{12}\text{As}_4\text{S}_{13}$, тетраэдритом $\text{Cu}_{12}\text{Sb}_4\text{S}_{13}$, пруситом Ag_3AsS , ксантоконитом AgAsS_3 , пираргиритом Ag_3SbS_3 , стефанитом AgSbS_4 , геокронитом $\text{Pb}_{14}(\text{AsSb})_6\text{S}_{29}$, виттитом $(\text{PbAg})_5\text{Bi}_6\text{S}_{14}$.

Отмечаются явно вторичные рудные минералы скородит, англезит, тригонит, образование которых связано с процессами окисления.

Арсенопирит II генерации представлен игольчатыми, мелко-шестоватыми агрегатами, неравномерно распределенными в породе. Отмечается тенденция к концентрации арсенопирита II в пространствах около трещин в кварцевых агрегатах в виде выделений лучистой, звездчатой формы, состоящих из зерен длиннопризматической и игольчатой формы. Иногда арсенопирит II генерации в незначительной степени замещает пирит II и арсенопирит I. Все зерна арсенопирита II в отличие от раннего арсенопирита «чистые» и не содержат включений других минералов.

Пирит III генерации по морфологии выделений мало отличается от пирита II генерации. В основном присутствует в виде порфиробластов кубической или близкой к ней формы. Гранулярный состав пирита III более выдержанный, практически не встречаются мелкие метакристаллы. Как правило, пирит III не содержит включений других минералов.

Руды отличаются постоянным содержанием золота. Однако выявить конкретные зерна самородного золота достаточно сложно. В основном золото приурочено к арсенопириту II, пространственно не связанному с пиритом III. В порфиробластах пирита III золото присутствует не всегда. Отмечаются зерна пирита, совершенно не содержащие золота. Следует подчеркнуть, что в этой ассоциации прослеживается прямая связь золота с сурьмой и серебром, иногда свинцом, т.е. есть все основания говорить о связи золота с блеклыми рудами сурьмянистого ряда.

Пирит I генерации в основном представлен плотно упакованными агрегатами, сформированными в различной степени ограненными кристаллами, условно названными фрамбоидами. В результате перераспределения и перекристаллизации пирита происходит увеличение доли кристаллов кубической формы, степень сегрегации которых увеличивается от центра к периферии.

Пирит I генерации имеет нестехиометричный 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 I содержит мышьяк (0,01-0,02%), в основном связанный с включениями арсенидов и сульфоарсенидов нанометрической размерности.

Пирит I генерации отличается наиболее высоким содержанием кобальта (0,4-0,2%) по отношению к пириту других генераций и постоянным содержанием (0,01%) никеля. Установлено, что кобальт и никель не только изоморфно входят в структуру пирита, но и

присутствуют в виде микро-нановключений. В мономинеральных фракциях пирита I идентифицированы минералы изоморфных рядов диарсенида Co и Ni- саффиорит (CoAs_2) и рамельсбергит (NiAs_2), сульфоарсениды Co и Ni- кобальтин (CoAsS) до геродорфит (NiAsS). Отношение кобальта к никелю в пирите I генерации всегда больше 1. Содержание меди (0,03-0,08%) и цинка (0,03 %) связано с микровключениями халькопирита и сфалерита соответственно.

Пирит II генерации представлен порфиробластами, которые сформированы кристаллами кубической, панидиоморфной и редко пентагон-додекаэдрической формы.

Пирит II генерации также имеет нестехиометричный состав. Содержание железа равно 44,05-45,10%, серы – 53,10-53,85%. Он отличается избытком серы и постоянным присутствием изоморфной примеси мышьяка в отличие от пирита I генерации. Отношение серы к железу составляет 2,07-2,10. Вероятно, избыток серы связан с ее привнесением гидротермальными растворами. Присутствие мышьяка (0,04-0,08%) обусловлено не только изоморфным вхождением в структуру пирита, но и замещением пирита арсенопиритом I генерации.

Пирит II генерации 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 микрофазы – кобальтин и коринит. В пирите II генерации присутствуют цинк (0,07-0,1%), входящий в состав сфалерита II, медь, связанная с микровключениями халькопирита и теннантита, идентифицированного микрофракционным анализом.

Пирит III генерации представлен порфиробластическими выделениями, сформированными кристаллами исключительно кубической формы нередко с четко выраженной штриховкой. В отличие от пирита II генерации пирит III в различной степени подвержен изменению. Наблюдается «расщепление» кристаллов на блоки, выщелачивание поверхности с образованием полостей разной формы и размера, коррозия нерудными минералами.

По составу пирит III практически не отличается от пирита II. Для него 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 может быть, вероятно, связано либо с гидротермальными растворами менее насыщенными серой, либо с процессами выщелачивания, следы которых явно прослеживаются. В пирите III генерации отмечается наиболее высокое содержание мышьяка, что связано с многочисленными включениями арсенопирита и с большим количеством микрофаз 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, связана с теннантитом.

Арсенопирит I генерации представлен порфиробластами и метакристаллами двойникового микростроения.

Арсенопирит I имеет нестехиометричный состав при не изменяющихся 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 II генерации присутствует в виде длиннопризматических и шестоватых кристаллов в пирите III генерации и образует агрегаты, состоящие из индивидуализированных зерен в кварцевом материале.

По содержанию железа (37,2%), мышьяка (44,03%) и серы (18,86%) арсенопирит II генерации близок арсенопириту I 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 II 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 сульфосолей мышьяковистого и сурьмянистого ряда (блеклые руды). Свинец и сурьма частично входят в галенит и антимонит соответственно. Минеральной фазой серебра является акантит. Нередкие 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.

Пирит и арсенопирит разных генераций, входящие в состав минеральных ассоциаций, отличаются друг от друга особенностями состава и строения, в том числе содержанием и характером локализации тонкодисперсного золота. Это подтверждает наличие трех подстадий (ранней, продуктивной и поздней) рудной стадии гидротермально-метасоматического процесса, в каждую из которой образовывалась одна минеральная ассоциация (таблица).

Впервые выявленные микро-нанопарагенезисы рудных минералов в совокупности с другими особенностями пирита и арсенопирита и руд в целом позволили установить элементы вертикальной минералогической зональности, выражающейся в смене минеральных ассоциаций с глубиной оруденения. Наличие типичного гидротермального микропарагенезиса сульфоарсенидов кобальта, никеля в пирите первой ассоциации, присутствующей в нижних горизонтах, позволяет считать, что источником оруденения были гидротермальные растворы, поднимающиеся с больших глубин, подводными каналами для которых служили тектонические трещины. Вторая минеральная ассоциация, слагающая средние горизонты, отличается полным отсутствием сульфидов Ni, Co, ограниченным количеством арсенидов и сульфоарсенидов, появлением блеклой руды. Присутствие антимонидов, висмутидов, сульфосолей Cu, Pb, Ag в пирите и арсенопирите третьей ассоциации свидетельствует о снижении температур минералообразования к концу процесса и закономерной смене ассоциаций с изменением типоморфных особенностей рудных минералов.

Общность схемы стадийности рудообразования свидетельствует о принадлежности всех ассоциаций к единой генетической группе. Таким образом, на формирование золото-

сульфидных руд месторождения Маломир оказали влияние тектоническая обстановка, вмещающая среда и наличие гидротермальных растворов.

3. Впервые в прожилково-вкрапленных золото-сульфидных рудах месторождения выявлено и идентифицировано тонкодисперсное самородное золото в рудных минералах. Золото в пирите и арсенопирите является упорным и перспективы его извлечения следует связывать с биохимическим выщелачиванием.

В рудах месторождения Маломир установлено тонкодисперсное самородное золото размером 0,003-0,07 мкм [Буряк, Пересторонин, 2000]. Значительно реже встречается золото размером 0,1-1,5 мкм, приуроченное к межзерновому пространству и мелким трещинам в кварце и сульфидах, обычно имеющее пластинчатую форму. Внешне однородные пластинки золота имеют блочное микростроение (рис 7). Свободных зерен золота не наблюдается, практически всегда отмечаются сростки. Пробность золота 800.

Впервые выявлена и определена форма нахождения тонкодисперсного золота и характер его взаимоотношений с минералами в золото-сульфидных рудах. 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 продуктивной сфалерит-арсенопирит-пиритовой ассоциации золото приурочено к пириту II генерации, в котором образует индивидуализированные зерна микро-нанометровой размерности округлой изометричной и неправильной формы (рис. 8). Отмечается явная приуроченность золота к границам зерен (рис. 9), микротрещинам и микродислокационным нарушениям. Самородное золото непосредственно в арсенопирите II генерации встречается весьма редко, имеет неправильную округлую форму и приурочено в основном к границам зерен (рис. 10).

Особо следует остановиться на локализации самородного золота на поверхности зерен пирита II. На сколе зерен пирита фиксируются тончайшие округлые образования, нередко приобретающие подобие огранки (рис. 11). Иногда отмечаются неравномерно распределенные агрегаты самородного золота, сформированные зернами кубической, реже округлой и слабо удлиненной формы, размер которых обычно варьирует в пределах 10–100 нм, тяготеющие к краевым зонам кристаллов (рис. 12, 13). Самородное золото, наблюдаемое на поверхности зерен пирита, характеризуется относительно хорошей степенью раскристаллизации (рис. 14). Значительно реже фиксируются тончайшие островковые пленочные образования, размеры которых, как правило, составляют первые десятки нанометра (рис. 15). Локализацию золота на гранях и сколах пирита ранее отмечали Н.П.Ермолаев с соавторами (1986) и Р.А.Амосов (1985). Можно предположить, что концентрация золота происходила в ослабленных зонах за счет наложения на уже сформированный пирит более поздних порций гидротермальных растворов, обогащенных золотом.

Стадийность минералообразования гидротермально – метасоматического процесса рудной стадии

Стадия	Подстадия	Рудная минеральная ассоциация	Морфология выделения	Главные рудные минералы	Форма зерен	S/Fe; S+As/Fe	Элементы примеси	Микро- нанопарагенезисы	Содержание золота, г/т
Рудная (рудогенная)	Ранняя	Марказит-пиритовая	Вкрапленность, почковидные выделения	Пирит I	Кубическая, нередко со сглаженными очертаниями	1,95-1,99	Co, Ni, иногда As	Сульфиды- Ni, Co, Fe Арсениды-Ni, Fe Сульфоарсениды- Ni, Co	0,82-2,00
	Продуктивная	Сфалерит-арсенопирит-пиритовая	Гнездовидная вкрапленность, порфиробластические выделения	Пирит II	Кубическая, панидиоморфная, редко пентагон-додекаэдрическая	2,07-2,10	As, иногда Co, Ni	Арсениды и сульфоарсениды Ni и Co Блеклая руда – теннантит	3,10-8,00
				Арсенопирит I	Бипирамидально-таблитчатая, короткопризматическая, псевдоромбоэдральная	1,734			
	Поздняя	Арсенопирит-пиритовая	Прожилки, гнездовидная вкрапленность	Пирит III	Кубическая, панидиоморфная	2,02-2,04	Co, Ni, иногда As	Сульфиды Ag Антимониды Сульфоарсениды Pb Сульфосоли Cu, Pb, Ag	1,12-2,80
				Арсенопирит II	Длиннопризматическая, игольчатая	1,769			

Видимо, следует согласиться с мнением Б.С.Андреева (1992), 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 золото-сульфидно-кварцевого комплекса приводит к смене характера связи золота и пирита. В результате перераспределения золото выходит за пределы зерен пирита. Поэтому в пирите III 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.

Тонкодисперсное самородное золото в пирите и арсенопирите относится к упорному, извлечение которого представляет определенные трудности и требует создания комбинированных технологий, предусматривающих биохимическое выщелачивание.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенных исследований установлено, что золото-сульфидные руды месторождения Маломир отличаются сложным минеральным составом, обусловленным присутствием 80 минералов, размер индивидов которых, включая главные минералы, варьирует от первых сантиметров до долей нанометра. Рудные минеральные ассоциации (марказит-пиритовая, сфалерит-арсенопирит-пиритовая и арсенопирит-пиритовая) характеризуются своеобразными текстурно-структурными рисунками, постоянным набором рудных минералов, строго фиксируемым в каждой ассоциации, распределением в них тонкодисперсного золота и соответствуют подстадиям (ранней, продуктивной и поздней) рудной стадии гидротермально-метасоматического процесса.

Генерации пирита и арсенопирита, входящие в состав различных минеральных ассоциаций, отличаются друг от друга морфологическими особенностями и составом. Впервые выявленные микро-нанопарагенезисы 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. В нижних горизонтах присутствует первая минеральная ассоциация с типичным гидротермальным микропарагенезисом сульфоарсенидов кобальта, никеля. В средних горизонтах отмечается вторая минеральная 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 золото-сульфидных рудах месторождения Маломир обнаружено тонкодисперсное самородное золото 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. В пирите II генерации самородное золото присутствует в виде кристаллов кубической формы, округлых изометричных и неправильных, слабо удлиненных и эллипсоидальных зерен, пленочных островковых образований, приуроченных к микротрещинам, границам зерен и ослабленным зонам. Непосредственно в арсенопирите I генерации золото не обнаружено. Размер самородного золота и характер его локализации в рудных минералах позволяют отнести золото-сульфидные руды к упорным, извлечение золота из которых может быть связано с биохимическим выщелачиванием.

СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

1. **Ожогин Д.О.**, Викулова Л.П. Наноминералогические особенности пирита месторождения Сухой Лог (Иркутская область) // Доклады VIII Международной конференции «Новые идеи в науках о Земле». Т.3. М. 2007. С. 224-225.

2. Дубинчук В.Т., Черников А.А., **Ожогин Д.О.**, Анашкина Н.А. Исследование форм нахождения платины и золота в рудах месторождения Царевское // Доклады VIII Международной конференции «Новые идеи в науках о Земле». Т.3. М. 2007. С.11-112.

3. **Ожогин Д.О.**, Дубинчук В.Т. Аналитическая электронная микроскопия-метод контроля технологических процессов переработки комплексных тонкодисперсных руд // Сборник материалов. VI Конгресс обогатителей стран СНГ. Т.1. М.. 2007. С.173-174.

4. Черников А.А., Дубинчук В.Т., **Ожогин Д.О.**, Чистякова Н.И. Особенности нахождения и распределения благородных металлов в рудах в зоне окисления онежских уран-ванадиевых месторождений Ю.Карелии // Новые данные о минералах. Выпуск 42. М.: ООО «Альтум». 2007. С.43-49.

5. **Ожогин Д.О.** Особенности золото-сульфидных руд Маломырского месторождения, определяющие условия их формирования и стадийность минералообразования // Проблемы освоения недр в XXI глазами молодых. Материалы 4 Международной научной школы молодых ученых и специалистов. М: ИПКОН РАН, 2007. С.48-52.

6. **Ожогин Д.О.**, Ружицкий В.В., Дубинчук В.Т., Возможности электронной микроскопии при технологической оценке тонкодисперсных руд // Значение исследований технологической минералогии в решении задач комплексного освоения минерального сырья. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН. 2007. С.69-73.

7. **Ожогин Д.О.** Парагенетические минеральные ассоциации золото-сульфидных руд месторождения Маломыр (Приамурье) // Молодые – наукам о Земле. Материалы межвузовской научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. М.: 2008. С. 173.

8. **Ожогин Д.О.** О моховидных агрегатах в золото-сульфидных рудах Приамурья // Структура и разнообразие минерального мира. Материалы Международного минералогического семинара. Сыктывкар. 2008. С.203-204.

9. 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.

10. Вещественный состав первичных и окисленных руд месторождения Маломир / Власов Н.Г., Голицын Ю.А., **Ожогин Д.О.** и др.// Коренные и россыпные месторождения алмазов и важнейших металлов. Тезисы докладов международной научно-практической конференции. Симферополь. 2008. С. 113-115.

11. Особенности формирования зон окисления на золоторудном месторождении Пионер / Н.Г.Власов, Ю.А. Голицын, **Д.О. Ожогин** и др.// Коренные и россыпные месторождения алмазов и важнейших металлов. Тезисы докладов международной научно-практической конференции. Симферополь. 2008. С.110-113.

12. Черников А.А., Дубинчук В.Т., **Ожогин Д.О.**, Чистякова Н.И. Генетическое значение особенностей состава руд мультиметальных U-V месторождений Карелии, комплексных месторождений других районов России, инфильтрационных урановых месторождений с благородными металлами Средней Азии и Казахстана // Проблемы геологии рудных месторождений, минералогии, петрологии и геохимии. Материалы научной конференции посвященной 100-летию со дня рождения академика Ф.В.Чухрова. М.: 2008. С.220-223.

13. **Ожогин Д.О.**, Орлова Н.И. Особенности арсенопирита золото-сульфидных руд Маломирского месторождений // Типоморфные минералы и минеральные ассоциации-индикаторы масштабности природных и техногенных месторождений и качества руд. Материалы Всероссийской научной конференции. Годичное собрание РМО. Екатеринбург, 2008. С. 70-71.

14. **Ожогин Д.О.** Минералогия золото-сульфидных руд месторождения Маломир // Актуальные проблемы геологического изучения недр и воспроизводства минерально-сырьевой базы твердых полезных ископаемых. Тезисы докладов научно-практической конференции молодых ученых и специалистов. М.: ВИМС. 2008. С. 119-120.

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

16. Тонкодисперсное золото в рудах месторождения Маломир и возможность его извлечения / **Д.О.Ожогин**, В.Т.Дубинчук, Н.И.Орлова и др. // Новые методы технологической минералогии при оценке руд, металлов и промышленных минералов. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН. 2009. С.70-78.

Подписано в печать 02.09.2009 г.
Формат 60×90 1/16. Усл. печ. л. 1,1
Отпечатано на ризографе.
Тираж 100. Заказ № 55

РИС «ВИМС»
119017, г. Москва, Старомонетный пер., дом 31