

## О МИНЕРАЛОГИИ ЗОЛОТОРУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ЮЖНО-МУЙСКОГО ХРЕБТА

Л. Ф. МИТРОФАНОВ, А. Д. МИКОВ, В. А. РУБАНОВ, А. П. ГРИБАНОВ

(Представлена профессором А. М. Кузьминым)

В статье приводятся некоторые материалы, собранные авторами в 1964-1966 гг. по минералогической характеристике золоторудных месторождений, объединяемых нами в Ирокиндинско-Киндиканское рудное поле.

Ирокиндинско-Киндиканское рудное поле сложено глубоко метаморфизованными породами архейского возраста, представленными кристаллическими сланцами, различными по составу гнейсами, скарнированными и мраморизованными известняками, а также мигматитами. В 1962 году А. А. Гамчаном эти породы объединены в киндиканскую свиту. Магматические породы рудного поля представлены небольшими дайковыми телами лейкократовых микроклин-плагиоклазовых и пегматоидных гранитов, мелкими жилами пегматитов архейского возраста [3]; дайками диоритов и порфиристых гранитов, относимых Н. П. Андреевым и А. А. Гамчаном к мезозойскому интрузивному комплексу.

Образования киндиканской свиты собраны в напряженные складки, осложненные складками более высоких порядков, часто с образованием плейчатости и гофрировки. Характерны различных размеров флексуры. Кроме того, архейские кристаллические породы пересекаются многочисленными разрывными нарушениями, которые в большинстве своем являются оперяющимися трещинами киянского регионального разлома, отделяющего Южно-Муйскую глыбу архейских пород от обрамляющих ее протерозойских отложений.

Золоторудные месторождения описываемого рудного поля тяготеют к зоне киянского разлома, находясь в непосредственной близости от него, и контролируются системами субмеридиональных тектонических нарушений с углом падения 40—50° в западных румбах. Наряду с золото- и сульфидсодержащими кварцевыми жилами, приуроченными к этим нарушениям, в них отмечаются и совершенно безрудные кварцевые жилы, представленные молочно-белым кварцем с редкими вкраплениями раннего пирита. Кварц в этих жилах обычно массивный сахаровидный.

Золотоносные кварцевые жилы выдержанны по простиранию и па-

дению. Выклинивание рудных тел простое. Оно характеризуется обычно постепенным уменьшением мощности. Реже наблюдаются более сложные формы выклинивания. Во всех случаях на продолжении жил отмечаются линзы и прожилки кварца. Средняя мощность жил варьирует в пределах 0,2—1,0 м, достигая в раздувах 3,0—3,5 м. Раздувы в рудных телах распределяются довольно равномерно, примерно через 20—30 м. В кварцевых жилах обычны и пережимы, вплоть до полного выклинивания. Пережимы и безжилые участки в зонах, вмещающих кварцевые жилы, имеют различную протяженность — от первых метров до первых десятков метров. Форма жил обычно простая, плитообразная, но бывает и отчетливо четковидная.

Минеральный состав рудных тел достаточно разнообразен. Среди минералов, слагающих рудные тела, можно выделить три группы: жильные, рудные-гипогенные и гипергенные. Жильные минералы представлены кварцем, карбонатами (кальцит, анкерит), серицитом и хлоритом (делессит). Гипогенная рудная минерализация представлена в основном сульфидами: пиритом, арсенопиритом, сфалеритом, халькопиритом, халькозином и галенитом. Кроме того присутствует блеклая руда, самородные золото и серебро. Гипергенная минерализация на описываемых месторождениях также достаточно разнообразна: ковеллин, халькозин, борнит, гетит, лимонит, малахит, азурит, церуссит, англезит, самородные медь и сера.

Ниже приводится краткое описание жильных и гипогенных рудных минералов в порядке их выделения из рудоносных растворов. Характеристика гипергенной минерализации не приводится из-за ограниченности объема данной статьи.

### Жильные минералы

Кварц является основным жильным минералом и на месторождениях отчетливо выделяется четыре его генерации. Первая генерация представлена темно-серым (до черного) безрудным кварцем, имеющим массивную и брекчиевидную текстуры. Кварц этой генерации пользуется незначительным распространением в пределах промышленных рудных тел, образуя линзы и прожилки, а в ряде случаев самостоятельные небольшие жилы. Под микроскопом он наблюдается в виде агрегатов неправильной формы с размерами зерен от 1 до 4 мм. Часто можно наблюдать, как обломки раннего кварца цементируются или пересекаются прожилками молочно-белого кварца второй генерации.

Кварц второй генерации представлен **молочно-белой** неравнозернистой разновидностью и является наиболее распространенным в золотосудных жилах рудного поля. Характеризуется он массивной (реже друзовой) текстурой. Занорыши в кварце имеют размеры до 5, реже — 10 см. Друзы и щетки кварца в этих полостях обычно мелкие. Хорошо образованные полупрозрачные и прозрачные кристаллы встречаются редко, но во всех случаях хорошо выражены пирамидальные окончания кристаллов. Довольно редко в кварце второй генерации встречаются брекчиевые текстуры, которые обусловлены включениями остроугольных обломков гидротермально измененных боковых пород и темного кварца первой генерации. Брекчиевидные текстуры наиболее четко проявлены в жилах Юрасовской-II и № 30. Эти текстуры обусловлены внутриминерализационными подвижками. В результате наложения рудных минералов последующих стадий минерализации возникли вкрапленные текстуры. С кварцем второй генерации парагене-

тически связан пирит первой генерации. Остальные сульфиды, а также золото и карбонаты проникают в него по трещинам и разъедают его, являясь, таким образом, более поздним образованием. Описываемый кварц пересекает кварц первой генерации и содержит в себе его обломки. С кварцем третьей генерации он часто имеет постепенные переходы, обусловленные растворением его при выделении последнего. Местами наблюдается отчетливое структурное пересечение их.

Третья генерация кварца представлена светло-серой, иногда с голубоватым оттенком, разновидностью. Последний образует прожилки, линзы и жилы мощностью до 1—1,5 м в рудных телах. Отложения кварца третьей генерации по субпараллельным трещинам в кварце второй генерации обуславливают появление полосчатых текстур в рудах. Характерна для этого кварца и массивная текстура. В некоторых участках (ж. Юрасовская-II) он имеет грубоплитчатое (реже тонкоплитчатое) строение. Под микроскопом кварц этой генерации характеризуется среднезернистым строением с размером зерен до 2, реже — 5 мм. Форма их неправильная, в общем близка к изометричной, или вытянутая, напоминающая плохо оформленную призматическую. С этим кварцем парагенетически связаны многие сульфиды и золото.

Четвертая генерация кварца проявилась в завершающую стадию формирования рудных тел в месторождениях описываемого рудного поля. Цвет его серовато-, или водяно-белый с мелко- и среднезернистой структурой и массивной текстурой. Этот кварц отмечается в небольшом количестве среди минеральных комплексов предыдущих стадий рудообразования. Образует он единичные маломощные линзы в призальбандовых частях рудного тела и на его флангах в рудовмещающей зоне рассланцованных пород. Выделение его в четвертую генерацию сделано на основании того, что он вместе с карбонатами пересекает минеральные комплексы предыдущих стадий минерализации и рассланцованные породы в рудовмещающей зоне, будучи сам монолитен.

Карбонаты присутствуют в рудах в незначительном количестве. Они представлены кальцитом и анкеритом, которые образуют прожилки мощностью до 1—2 см и гнезда размером до 5 см в кварце первых трех генераций.

Кальцит имеет белый, часто светло-желтоватый цвет. Под микроскопом кальцит наблюдается в виде зерен неправильной формы размером до 8 мм, нередко имеющих отчетливую полисинтетическую двойниковую структуру. Иногда прожилки кальцита развиваются в молочно-белом кварце. Спектральным анализом в кальците из жил Юрасовской-II и Нижней обнаружены свинец — 0,03%, медь — 0,003—0,1%, цинк — 0,3%, серебро — 0,005%, следы никеля, сурьма — до 0,1%, стронций — 0,1%, титан — до 0,1%, марганец, барий и мышьяк — до 0,006%.

Анкерит встречается в рудах очень редко. Для него характерна буровато-желтая окраска. Он образует мелкие—до 1—2 см гнездообразные скопления, представляющие собой агрегаты хорошо образованных кристаллов или прожилки различной мощности.

Так как карбонаты ассоциируют с кварцем четвертой генерации и их прожилки рассекают все ранее выделившиеся минеральные ассоциации, то несомненно, что они выделяются из последних порций гидротермальных растворов.

Силикаты встречаются в жилах очень редко и представлены в основном серицитом, реже мусковитом (жилы Юрасовская, Петровская) и хлоритом-делесситом (жила Верхняя).

В целом рудная минерализация в жилах по объему составляет около 1—2%.

Пирит является одним из наиболее распространенных минералов и представлен двумя генерациями. Пирит первой генерации имеет светлый латунно-желтый цвет. Представлен он в виде гнезд размером до 7×12 мм, иногда до 4×5 см, а также в форме отдельных, кубического габитуса, кристаллов. Электролитическое травление в растворе аммиака позволяет выявить катакластическую структуру минерала. В результате заполнения трещин в раздробленных зернах и агрегатах его кварцем третьей генерации, галенитом и золотом довольно часто встречается цементная микроструктура. В пирите встречаются прожилковые выделения халькопирита. Парагенетически пирит связан с кварцем второй генерации, в котором он распространен довольно равномерно. Эта ассоциация минералов (пирит и кварц) занимает господствующее положение во всех месторождениях рудного поля. Спектральным анализом пробы № 254 (ж. Юрасовская-II) в пирите первой генерации установлены свинец — больше одного процента, медь — 0,1%, цинк — более 1%, серебро — 0,01%, никель—0,006%, мышьяк и сурьма—0,3%.

Пирит второй генерации под микроскопом, по сравнению с первым, характеризуется более светлой желтовато-белой окраской. Он образует мелкозернистые агрегаты размером до 0,2×1,0 мм в кварце третьей генерации, а также наблюдается в нем в виде зерен размером до 1 мм. Вместе с кварцем третьей генерации он цементирует раздробленные агрегаты пирита первой генерации. Парагенетически пирит второй генерации связан с кварцем третьей генерации. Но сам он, в свою очередь, разъедается сфалеритом и галенитом.

Арсенопирит встречается только в трех жилах: Юрасовской-II, Верхней и Петровской, где содержания его весьма незначительны. Он образует короткостолбчатые призматические кристаллы очень мелких размеров (десятые доли мм), которые иногда собраны в агрегаты. Встречаются двойники по (010). Арсенопирит обнаруживает парагенетическую связь с кварцем третьей генерации, в котором он обычно и развивается. Он является более ранним образованием по сравнению со сфалеритом, блеклой рудой, галенитом и халькопиритом, так как замечено, что последними он часто корродируется.

Сфалерит по сравнению с пиритом встречается значительно реже и образует как гнезда и гнездообразные скопления размером до 1—2 см, так и мелкую вкрапленность в кварце второй генерации, выполняя в нем трещины. В случае мелкой вкрапленности сфалерит часто имеет непосредственный контакт с пиритом, халькопиритом и галенитом. Сфалерит находится в парагенетической связи с кварцем третьей генерации. Его зерна обычно содержат мелкую эмульсионную вкрапленность халькопирита, приуроченную к трещинам спайности. Выделения халькопирита в этом случае являются продуктом распада твердого раствора. Иногда зерна сфалерита пересекаются халькопиритом, который здесь является, несомненно, более молодым образованием. Сфалеритом часто корродируются зерна арсенопирита. Изредка в нем встречается мелкая вкрапленность галенита. Структурным травлением смесью марганцевокислого калия и серной кислоты устанавливается приуроченность зерен галенита к межзерновым пространствам сфалерита, что свидетельствует о более позднем выделении последнего из растворов. Сфалерит часто разъедается блеклой рудой, внутри образований которой нередко сохраняются лишь остатки сфалеритовых агрегатов. В отдельных случаях он разъедается и золотом.

Спектральным анализом пробы № 255 (ж. Юрасовская-II) в сфалерите установлены следующие элементы-примеси: свинец — 0,03%, медь — 0,001%, серебро — 0,0005% и кадмий — 0,1—1,0%.

Халькопирит в рудах содержится примерно в таком же количестве, как и сфалерит и развивается в виде редких, неправильной формы вкраплений размером до 3—4 мм. Он часто ассоциирует с пиритом, галенитом, блеклой рудой и другими минералами продуктивной стадии минерализации. Халькопирит парагенетически тесно связан с кварцем третьей генерации. В последнем он выполняет промежутки между его зернами. Выделения халькопирита наблюдаются в виде эмульсионной вкрапленности, небольших прожилковидных скоплений и в виде каемок в краевых частях агрегатов сфалерита. В ряде случаев зерна халькопирита по трещинам спайности замещаются галенитом. Но иногда халькопиритовые прожилки пересекают выделения галенита (штольня № 6,120 м, ж. Юрасовская-II). Совершенно неправильные корродированные зерна халькопирита размером 0,08—0,7 мм содержатся в блеклой руде. Являясь более поздним образованием по отношению к молочнo-белому кварцу второй генерации, он выполняет трещины катаклаза в нем.

Кубанит встречен только в жиле Верхней. Он располагается в халькопирите в виде мелких пластинчатых выделений и наблюдается только под микроскопом. В отдельных случаях пластинки кубанита пересекаются блеклой рудой. Как указывает П. Рамдор [2], при высокой температуре халькопирит растворяет значительное количество пирита и находится в виде «кубического высокотемпературного халькопирита», который с понижением температуры может распадаться на обычный халькопирит + кубанит. Распад твердого раствора с выделением кубанита происходит при температуре 250—300°. Так что наличие кубанита в месторождениях Ирокиндинско-Киндиканского рудного поля говорит о том, что температура образования руд должна быть, во всяком случае, выше 250°.

Халькозин является очень редким гипогенным минералом и обнаруживается только под микроскопом. Известен в жилах Юрасовской-II и № 30. Зерна его имеют изометричную форму с размером до 0,4 мм. Встречается он совместно с халькопиритом и блеклой рудой и, реже, в сфалерите. С халькопиритом халькозин образует структуру взаимных границ, что свидетельствует о их близко одновременном отложении из растворов. Кроме того, он разъедается блеклой рудой, что послужило основанием для отнесения его к группе гипогенных минералов.

Галенит является наиболее распространенным рудным минералом и встречается практически во всех рудных телах. В жилах Юрасовской-II, № 30, Серебряковской, Тулуинской и др. он имеет преобладающее значение по сравнению с другими рудными минералами. В других жилах по распространенности он уступает пириту или блеклым рудам (ж. Петровская). Встречаясь в кварцах рудных стадий минерализации, он образует в них мелкие, редкие, обычно изометричные вкрапления размером от 0,4 до 2 мм, или редкие гнездообразные, неправильной формы скопления от 0,5 до 3—4 см, реже — до 10 и более см (ж. Юрасовская-II, Тулуинская). На отдельных участках число его скоплений и мелких гнезд в кварце резко возрастает и, как правило, эти участки имеют повышенную золотоносность. Структурное травление выявило в минерале следы катаклаза. В составе мономинеральных проб № 256 и 260 галенита из жил Юрасовской-II и Нижней обнаружены следующие элементы-примеси: медь — 0,001—0,03%.

цинк — 0,06%, серебро — 0,1%, висмут — 0,003—0,01%, сурьма — 0,1—0,3% и мышьяк — 0,01%.

Галенит парагенетически тесно связан с кварцем третьей генерации, вместе с которым он часто цементирует раздробленные зерна и агрегаты пирита первой генерации. Нередко он почти нацело разъедает зерна указанного пирита и арсенопирита, слабо корродирует пирит второй генерации, который находится в галените в виде мелких включений. В ряде случаев галенит внедряется по трещинам спайности в зерна халькопирита и разъедает его. Но иногда халькопирит проникает в краевые части зерен галенита или даже пересекает их. Встречается он и в периферийных частях зерен блеклой руды, но разъедается последней. Часто корродируется золотом. Мелкие выделения галенита наблюдаются в сфалерите, иногда он цементирует зерна последнего.

Блеклая руда распространена сравнительно широко и встречается почти во всех рудных телах. Наиболее широко она развита в жилах Хребтовой, на абсолютной отметке 1750 м, где она по сравнению с другими рудными минералами имеет преимущественное развитие. Минералогически среди блеклых руд удаётся выделить и теннантит и тетраэдрит. Парагенетически блеклая руда связана с кварцем третьей генерации, выполняя промежутки между его зернами. Зерна блеклой руды содержат иногда в краевых частях округлые включения сфалерита и неправильной формы зерна халькопирита. В ней встречаются также зерна халькозина. В отдельных зернах сфалерита она образует прожилки, корродирует арсенопирит, галенит, халькозин и золото. С другой стороны, некоторые микротрещины в зернах блеклой руды выполнены золотом. В кварце второй генерации она выполняет трещины катаклаза и корродирует его.

По данным спектрального анализа пробы № 257 в блеклой руде содержатся следующие элементы: свинец, медь, цинк, серебро и сурьма в количествах, превышающих 1%, «следы» никеля 0,1—1,0% кадмия и мышьяка, 0,001% титана и даже до 0,1% золота.

Золото в самородном виде присутствует почти во всех гидротермальных кварцевых жилах. Выделения золота очень часто видны невооруженным глазом. Они находятся в кварце как обособленно, так и в тесной ассоциации с сульфидами и сульфосолями. Размер золотинок колеблется в широких пределах от микроскопических выделений до сравнительно крупных агрегатов в 1—2 мм, достигает иногда и больших размеров. По данным технологических испытаний крупное золото составляет более 50% от исходного содержания его в руде жилы Петровской. Цвет золота повсеместно бледно-желтый. Он обусловлен низкой пробностью, которая по данным испытаний ЦНИГРИ технологической пробы находится в пределах 550—850 (по ж. Юрасовской-II). В отдельных случаях, когда золотины развиваются в лимоните, золото имеет красновато-желтый цвет, что свидетельствует о более высокой его пробе. Здесь, по-видимому, произошло повышение пробности золота за счет выщелачивания из него примесей в зоне окисления.

Форма выделений золота неправильная. Наблюдаются скелетообразные сростания, дендриты с ажурным пористо-ноздреватым строением отдельных сростающихся мелких частиц. Для мелкого золота (менее 0,1 мм) характерны выделения в виде пластинок и чешуек. Под микроскопом выделения золота имеют округлую или неправильную удлиненную форму. Встречаются и прожилки золота, располагающиеся в межзерновых пространствах. Форма выделений золота в значительной мере определяется очертаниями стенок трещин в кварце второй генерации и сульфидах, по отношению к которым оно является более

поздним образованием, а также формой межзерновых пространств кварца третьей генерации. В последнем случае выделения золота образуют цепочки. Ограничения золотины обычно извилисты, зубчатые, в некоторых случаях они окружены каймой лимонита. Последнее характерно для близповерхностных образцов.

Парагенетически золото связано с кварцем третьей генерации. Оно располагается в промежутках между зернами кварца этой генерации. Его выделения образуют прожилки в раздробленных зернах пирита первой генерации, а также проникают в зерна более поздних сульфидов: галенита, сфалерита, блеклой руды. Следует отметить, что иногдо золотины корродируются блеклой рудой. Эти факты позволяют предполагать, что золото является одним из наиболее поздних гипогенных рудных минералов в кварцевых жилах рудного поля и выделялось, по-видимому, одновременно с блеклой рудой.

Серебро устанавливается лишь под микроскопом в виде единичных зерен в галените, например, в ж. Юрасовской, что в какой-то мере подтверждается и пробирным анализом мономинеральной пробы, показавшем содержание серебра около 0,3%. Как указывает П. Рамдор [2], в таком случае серебро должно присутствовать в виде механической примеси, т. е. как самородное. В виде единичных мелких зерен неправильно-крючковатой формы с размером 0,15—0,30 мм самородное серебро обнаружено в гравитационном концентрате жилы Петровской. Цвет его серебристо-белый. Имеются незначительные примеси меди и сурьмы. Содержание серебра в золоте составляет 37,5% по жиле Петровской. Аналогичные содержания его, по-видимому, можно предполагать и в остальных золоторудных телах.

Все рудные тела Ирокиндинско-Киндиканского рудного поля обладают сложным строением, что обуславливается наличием в их составе продуктов нескольких самостоятельных стадий минералообразования. На описываемых месторождениях устанавливается четыре основных стадии минерализации, разделенных между собой внутриминерализационными перерывами: 1) кварцевая, 2) кварц-пиритовая, 3) кварц-полиметаллическая, 4) кварц-карбонатная.

К первой кварцевой стадии, как уже было отмечено выше, относится безрудный темно-серый, до черного, кварц, имеющий массивную и брекчиевидную текстуры. Этот кварц отмечается в незначительных количествах, а в некоторых рудных телах он вообще не был встречен. Последнее, очевидно, свидетельствует об отсутствии достаточного количества значительных по размерам полостей в рудной зоне во время поступления первых порций термальных растворов. Завершилась первая стадия минерализации слабыми тектоническими подвижками, которые привели к возникновению открытых полостей, а также многочисленных тонких трещин различной протяженности в рудной зоне и в кварце первой генерации. На это указывает характерное брекчиевидное строение кварца первой генерации и интенсивное растрескивание и дробление вмещающих пород.

Во второй период происходило спокойное отложение молочно-белого кварца второй генерации в открытых полостях среди ранее образованного кварца, что доказывается наличием друзовых текстур. С этим кварцем связано и образование пирита первой генерации.

После некоторого деформационного перерыва снова возобновилась циркуляция растворов. С этой стадией связано отложение светло-серого кварца третьей генерации с сульфидами, сульфосолями и золотом. Осаждение рудных минералов происходило почти одновременно. Несколько раньше среди них выделился пирит второй генерации. Отложение золота и серебра произошло после кристаллизации основной массы

сульфидных минералов. Сульфиды и золото отложились как в тесном сростании с кварцем третьей генерации, так и по трещинам в минералах предыдущих стадий. Эта стадия минералообразования по праву является основной рудной стадией, так как с ней связано выделение подавляющего количества полезного компонента.

В заключительную, четвертую стадию выделились карбонаты и кварц. Эти образования наблюдаются в рудных телах в незначительных количествах. Их выделению также предшествовали слабые тектонические подвижки, которые фиксируются по наличию трещин в кварце третьей генерации, а также по деформации кристаллов галенита.

После завершения процессов рудообразования и вывода месторождений на дневную поверхность сульфидные минералы подверглись вторичным изменениям, что привело к образованию вторичных сульфидов, карбонатов, окислов и гидроокислов.

Изучение минералогии некоторых золоторудных месторождений Южно-Муйского хребта, залегающих среди древних архейских метаморфических пород, позволяет отнести их к формации малосульфидных руд относительно больших глубин по классификации Н. В. Петровской [1] и сделать ряд выводов о перспективах этих месторождений.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Н. В. Петровская. Минеральные ассоциации в золоторудных месторождениях Советского Союза. Труды ЦНИГРИ, вып. 76, 1967.
2. П. Рамдор. Рудные минералы и их сростания. Изд. ИЛ, 1962.
3. Л. И. Салоп. Геология Байкальской горной области. Т. П. Магматизм, тектоника, история геологического развития. Изд. «Недра», 1967.