

Е. Г. Дашкевич¹, П. А. Неволько^{1,2}, А. Л. Тимкина¹

*¹ – Институт геологии и минералогии СО РАН, г. Новосибирск
dashkevichev@ngs.ru*

² – Новосибирский государственный университет, г. Новосибирск

**Минералого-геохимические особенности руд
и физико-химические условия формирования
Попутнинского золоторудного месторождения (Енисейский кряж)
(научный руководитель А. С. Борисенко)**

Работа посвящена выяснению возраста, изучению минералого-геохимических особенностей руд и физико-химических условий формирования Попутнинского золоторудного месторождения, локализованного в Рыбинской рудной зоне Южно-Енисейского района Красноярского края. На месторождении выделяется несколько типов руд: листовитоподобные золотоносные метасоматиты с пиритом, арсенопиритом и фукситом, золотоносные метасоматиты с игольчатым арсенопиритом и углистым веществом и кварц-карбонатные жилы с антимонитом.

За почти полуторавековую историю золотодобычи на Енисейском кряже детально были изучены и описаны крупные и уникальные месторождения, такие как Олимпиадинское, Советское, Эльдорадинское, Ведугинское, Удерейское, Раздольнинское и др. Попутнинское месторождение осталось без внимания. Единственным источником информации об этом объекте являются единичные фондовые отчеты, касающиеся поисков и оценки перспективности на рудное золото, проводимых в пределах Рыбинской рудной зоны.

Определение возраста оруденения и условий его образования позволит сопоставить это малоизученное месторождение с другими золоторудными объектами в регионе и определить его положение в общей последовательности формирования золотого оруденения Енисейского кряжа. Для реализации поставленной цели предусматривалось решение следующих задач: 1) выделение возрастных рубежей формирования Попутнинского месторождения на основе изотопно-геохронологических исследований; 2) оценка продолжительности формирования месторождения с учетом многостадийности развития гидротермального процесса; 3) установление минералогическо-геохимических особенностей оруденения путем изучения минералогии руд, состава сульфидов и самородного золота; 4) определение физико-химических параметров формирования различных типов золотого оруденения (Т, Р, состав и концентрация растворов, состав газовой фазы и т.д.) и выяснение особенности эволюции их во времени на основе термобарогеохимических исследований.

Оруденение вмещают толщи тальк-карбонат-хлоритовых сланцев, представляющих собой продукты метаморфизма метапикробазальт-базальтовой ассоциации Рыбинско-Панимбинского вулканического пояса. Эта ассоциация преимущественно высокомагнезиальных пород представлена лавами, туфолавами, туфами и туфобрекчиями пикробазальтового, базальтового и, изредка, пикритового состава. Среди них развиты горизонты углеродистых сланцев. Породы метаморфизованы до зеленосланцевой (редко до эпидот-амфиболитовой) фации, включают зоны расланцевания, дробления, гидротермального изменения. С высокой магнезиальностью пикробазальтов постоянно коррелируют повышенные концентрации Cr, Co и Ni [Ножкин и др., 2011]. С северо-востока к этой толще примыкает интрузивное тело диабазов Лендахского комплекса.

Золотое оруденение Попутнинского месторождения приурочено к несогласному контакту метаморфизованных вулканогенных пород с черными и серыми глинистыми сланцами. По границе пород (зоне повышенной проницаемости и трещиноватости) развиваются золотосодержащие метасоматиты, состав которых напрямую зависит от состава исходного субстрата. В результате геохимической съемки, проводимой в 1974–1979 гг. Ангарской ГРЭ на месторождении были выявлены следующие закономерности: элементами-спутниками золотого оруденения являются мышьяк и сурьма, четкую связь с метаморфизованными вулканитами основного состава и метасоматитами обнаруживают хром, никель и кобальт. Характерно, что эти элементы (а также сурьма) отсутствуют в поле преобладающего развития углеродистых терригенных сланцев и диабазов Лендахского комплекса.

Таким образом, на Попутнинском месторождении представлены руды различных геохимических типов: 1) золото-мышьяковые (в полях развития диабазов и углеродистых сланцев) и 2) золото-мышьяково-сурьмяные с хромом, никелем и кобальтом (вдоль контакта с метавулканитами основного состава).

Характерной особенностью Попутнинского месторождения (в отличие, например, от Удерейского) является широкое развитие эндогенных (первичных) ореолов рассеяния золота с содержанием 0.3–1.0 г/т.

Различие геохимической специализации рудоносных метасоматитов, образованных по различному субстрату, находит свое отражение как в минеральном составе руд, так и в химическом составе отдельных рудных минералов. Метасоматиты в поле развития диабазов Лендахского комплекса представляют собой серицит-карбонат-кварцевые образования (березиты), несущие пирит-арсенопиритовую минерализацию с тонким золотом. Сульфидизированные кварц-хлорит-серицитовые черные сланцы характеризуются присутствием пирита, арсенопирита и пирротина (углерод в сланцах создает восстановительные условия, что приводит к формированию пирротина). Фуксит-карбонат-хлоритовые метасоматиты по основным породам содержат наибольший спектр рудных минералов. Помимо пирита, арсенопирита, пирротина в рудах такого типа отмечаются халькопирит, тетраэдрит, сфалерит, герсдорфит, антимонит, бертьерит, ульманит.

Описанные различия в минеральном составе метасоматитов при одновременном их формировании являются следствием различия состава субстрата. Отсюда вытекает то, что хром, никель, кобальт и сурьма не привносились извне, а перераспределялись в пределах полей метасоматического преобразования пород. Широкое развитие эндогенных ореолов золота и постоянная устойчивая положительная корреляция золота с мышьяком свидетельствует о привносе этих элементов гидротермальными растворами. Хотя не исключается роль и частичного переотложения их в результате мобилизации из пород рамы (особенно из черных углеродистых сланцев).

Самородное золото характеризуется единым составом вне зависимости от типа метасоматитов. Состав его типичен для месторождений Енисейского кряжа – высокая пробытность (900–920 ‰), наличие примеси серебра и ртути до 8 и 2.5 мас. % соответственно [Неволько, 2009].

Для определения физико-химических параметров формирования золотоносных метасоматитов Попутнинского месторождения были проведены исследования флюидных включений в рудном и безрудном кварце. На первом этапе исследования получены данные для метасоматитов, образованных по основным породам, кварц-карбонатным жилам и прожилкам, несущим сурьмяную минерализацию, а также для поздних пострудных кварц-карбонатных жил.

При визуальном наблюдении прозрачных полированных кварцевых пластин толщиной 0.3–0.5 мм были обнаружены первичные, первично-вторичные и вторичные флюидные включения размером до 7 мкм (в основном, 3–4 мкм). Изучались группы включений (3–5 включений в каждой группе), расположенные внутри кварцевых зерен без видимой связи с залеченными трещинами.

Установлено, что в кварце из фуксит-карбонат-хлоритовых метасоматитов законсервированы существенно водные двухфазовые ($\text{Ж}_{\text{H}_2\text{O}}+\Gamma$) включения. Температуры эвтектики водного раствора во флюидных включениях меняются от –33 до –36 °С, что указывает на присутствие в растворах хлоридов Na, K, Mg, Fe [Борисенко, 1977]. Температуры плавления последнего кристаллика льда меняются от –6.5 до –8 °С. Концентрация водного раствора составляет 10.5–12.5 мас. % NaCl-экв. Температуры гомогенизации включений – 190–150 °С.

В кварце из жил и прожилков с антимонитовой минерализацией преобладают двухфазовые ($\text{Ж}_{\text{H}_2\text{O}}+\Gamma$) флюидные включения, гораздо реже встречаются трехфазовые ($\text{Ж}_{\text{H}_2\text{O}}+\text{Ж}_{\text{CO}_2}+\Gamma$) и двухфазовые включения с углекислотой ($\text{Ж}_{\text{CO}_2}+\Gamma$). Температуры

эвтектики флюидных включений, меняются от -32 до -37 °С, свидетельствуя о наличии в растворе хлоридов Na, K, Mg, Fe. Температуры плавления льда -3 °С -22 °С. Концентрация водного раствора варьирует в широких пределах от 6 до 23 мас. % NaCl-экв. Температуры гомогенизации включений составляют 220–130 °С. Наличие флюидных включений с углекислотой в кварце из жил с антимонитовой минерализацией позволило оценить плотность CO₂ и давление флюида, принимавшего участие при кристаллизации кварца. Температура плавления углекислоты во включениях составляет -57.5 – -59 °С, что свидетельствует о наличии других низкокипящих газов в газовой составляющей флюида (температура плавления чистой CO₂ -56.5 °С). В результате КР-спектроскопического анализа флюидных включений выявлено присутствие CO₂, а также небольшого количества CH₄ (0.3–0.5 мол. %) и N₂ (до 2.6 мол. %). Плотность флюида, оцененная с учетом наличия метана и азота в газовой составляющей флюида, составляет 0.77–0.87 г/см³, давление 0.62–1.3 кбар.

Кварц из поздних пострудных гидротермальных жил захватывал водные двухфазовые (Ж_{H₂O}+Г) включения. Флюид, формировавший месторождение на поздней стадии гидротермальной деятельности, отличается по физико-химическим параметрам от флюида рудной стадии. Температуры эвтектики водного раствора во флюидных включениях меняются от -22 до -30 °С, что указывает на присутствие хлоридов Na и K в водной фазе. Температуры плавления льда меняются от -1 °С до -6.5 °С. Концентрация водного раствора варьирует от 2–10.5 мас. % NaCl-экв. Температуры гомогенизации включений составляют 230–120 °С.

Результаты комплексного исследования флюидных включений показали, что минералообразование на Попутнинском месторождении происходило с участием флюидов, характеризующихся системой CO₂(±CH₄+N₂)–H₂O–NaCl–KCl (±MgCl₂±FeCl₂). Флюид рудной стадии захватывался при температурах 190–150 °С и характеризуется высокой соленостью (от 10.5 до 12.5 мас. % NaCl-экв.) (формирование золотоносных метасоматитов). Формирование кварцевых жил с антимонитом в рудную стадию происходило при температурах 220–130 °С и давлениях 0.62–1.3 кбар. Соленость раствора, законсервированного в антимонит-кварцевых жилах, достигает 23 мас. % NaCl-экв. В пострудный этап формирования секущих кварцевых жил и прожилков соленость раствора снижается и составляет 2–10.5 мас. % NaCl-экв. Температуры эвтектики водного раствора включений (-22 – -30 °С) указывают на изменение состава системы (CO₂–H₂O–NaCl–KCl), преобладающую роль в которой теперь играют хлориды натрия и калия.

Для золото-сульфидных руд Попутнинского месторождения аргон-аргоновым методом был определен возраст формирования наиболее продуктивной ассоциации на месторождении, представляющей собой кварц-карбонат-фукситовые метасоматиты с вкрапленными сульфидами и самородным золотом. Полученный возраст отвечает 717 ± 6 и 712 ± 6 млн лет. Эти датировки хорошо согласуются со сделанными ранее выводами о периодах формирования золотого оруденения на Енисейском кряже. Выделенная эпоха 720–711 млн лет, соответствующая образованию золото-пирит-пирротин-арсенопиритовой полисульфидной ассоциации золото-сульфидных прожилково-вкрапленных руд, по времени совпадает с заложением и эволюцией авлакогенов и рифтовых структур (Уволжский, Индольский, Таловский грабены, Гейско-Чапский прогиб) (720–700 млн лет), проявлением внутриплитного субщелочного гранитоидного и щелочного магматизма (кутукасский, гурахтинский гранитоидные комплексы – 700–690 млн лет, захребетнинский, среднетатарский комплексы – 710–700 млн лет) [Ножкин и др., 2011].

Исследование выполнено при поддержке НШ-65458.2010.5 и гранта ВМТК ИГМ СО РАН.

Литература

Борисенко А. С. Изучение солевого состава растворов газово-жидких включений в минералах методом криометрии // Геология и геофизика. 1977. № 8. С. 16–27.

Неволько П. А. Геологические и физико-химические условия формирования сурьмяной минерализации на золоторудных месторождениях Енисейского кряжа. Дис. ... канд. геол.-минер. наук. Новосибирск: ИГМ СО РАН, 2009. 183 с.

Ножкин А. Д., Борисенко А. С., Неволько П. А. Этапы позднепротерозойского магматизма и возрастные рубежи золотого оруденения Енисейского кряжа // Геология и геофизика. 2011. № 1. С. 124–143.