N E W S
OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN
SERIES OF GEOLOGY AND TECHNICAL SCIENCES
ISSN 2224-5278
Volume 3, Number 429 (2018), 317 – 326

A. B. Baibatsha[1], Andrzej Muszynski[2],
G. M. Omarova[1], K. Sh. Dyussembayeva[1], A. T. Kassenova[1]

[1]Kazakh National Research Technical University named after K. I. Satpayev, Almaty, Kazakhstan,
[2]Adam Mickiewicz University, Poznan, Poland.
E-mail: baibatsha48@mail.ru; omarova_gulnara@mail.ru

GOLD FINENESS AS INDICATOR OF PHYSICAL-CHEMICAL CONDITIONS OF MINERALIZATION AT THE KOKKIYA GOLD DEPOSIT (KYRGYZ RIDGE)

Abstract. The article describes the results of microscopic studies of ores at the Kokkiya deposit. The mineral composition of deposit's ore is determined with the identification of main, secondary and rare minerals. Fineness of gold is determined, the variability of which is determined by depth, as well as the processes of mineral formation from early associations to late ones. The fineness of native gold is accepted as a typomorphic sign by many scientists of the world and indicating the physical-chemical conditions for the formation of gold deposits. Founding rare microminerals also carry basic information about the physical-chemical conditions of ore deposition. Causal relationships between the composition of minerals and the characteristics of mineral-forming processes are revealed, which is the most important task of genetic mineralogy. It is equally important in practical terms for the development of mineralogical forecasting and evaluation criteria.

Key words: gold probability, pyrite, tellurides, gold-concentrating minerals.

УДК 552.086; 553.08

А. Б. Байбатша[1], А. Мушински[2], Г. М. Омарова[1], К. Ш. Дюсембаева[1], А. Т. Касенова[1]

[1]Казахский национальный исследовательский технический университет им. К. И. Сатпаева,
Алматы, Казахстан,
[2]Университет им. Адама Мицкевича, Познань, Польша

ПРОБНОСТЬ ЗОЛОТА КАК ИНДИКАТОР ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ МИНЕРАЛООБРАЗОВАНИЯ НА ЗОЛОТОРУДНОМ МЕСТОРОЖДЕНИИ КОККИЯ (КЫРГЫЗСКИЙ ХРЕБЕТ)

Аннотация. В статье изложены результаты микроскопических исследований руд на месторождении Коккия. Установлен минеральный состав руд месторождения, с выявлением главных, второстепенных и редких минералов. Определена пробность золота, изменчивость которой определяется глубиной, а также процессами минералообразования от ранних ассоциаций к поздним. Пробность самородного золота принимается многими учеными мира, как типоморфный признак, указывающий на физико-химические условия образования золоторудных месторождений. Найденные редкие микроминералы также несут основную информацию о физико-химических условиях рудоотложения. Выявлены причинно-следственные связи между составом минералов и характеристиками минералообразующих процессов, что является важнейшей задачей генетической минералогии. Не менее важно это и в практическом отношении для разработки минералогических прогнозно-оценочных критериев.

Ключевые слова: пробность золота, пирит, теллуриды, золотоконцентрирующие минералы.

Введение. Месторождение Коккия расположено на северных склонах Киргизского хребта, в пределах Киргизско-Терскейской минерагенической зоны. На территории Республики Казахстан, эта зона включает 6 золоторудных формаций: золото-кварцево-жильная; золото-сульфидно-кварцевая; золото-сульфидно-скарновая; золото-сульфидно-кварц-березитовая; золото-кварц-пропилитовая и золотоносных россыпей.

Месторождение Коккия связано с золото-кварц-пропилитовой формацией и приурочено к породам девонской вулкано-плутонической ассоциации (андезиты, риолиты, и их лавобрекчии). Пространственное размещение их контролируется тектоническими нарушениями и малыми интрузиями сиенитов, сиено-диоритов, монцогранодиоритовсредне-девонского интрузивного комплекса, и, в целом, носит линейно-узловой рисунок. Оруденение приурочено к лавам и лавобрекчиям риолитового состава талдысуского субвулканического комплекса. На эти породы наложены зоны гидротермально-метасоматических изменений и прожилково-жильного окварцевания.

Месторождение Коккия делится на два участка: участок Коккия и участок Южный, расположенные в одной метасоматической зоне. Генетически это руды одного типа, но пространственно разнесены на 2 км.

Северная часть месторождения Коккия располагается в зоне интенсивного гидротермального изменения. Разрывные нарушения разбивают площадь месторождения на многочисленные блоки. Простирание разломов самое разнообразное. Распределение золотой минерализации на месторождении крайне сложное. Выделение рудных тел в пределах внешне однообразной зоны кварц-серицитовых метасоматитов возможно только по результатам анализа проб. Рудные тела выделены по бортовому содержанию 0,3 г/т. Форма тел - линейно-вытянутая в северно-восточном направлении. Падение основных рудных зон - юго-западное под углами 65-75°. Мощность рудных тел в скважинах изменяется от 0,5 до 60 м, в канавах от 1 до 22 м при средней мощности – 5-6 м.

На рудном поле месторождения Коккия намечается следующая вертикальная метасоматическая зональность: возвышенные части рельефа слагают вторичные кварциты, а под ними залегают пропилитизированные породы. Здесь же наиболее полно и широко проявлена серицитовая фация. Количество кварца и серицита в породе изменчиво. С уменьшением количества серицита наблюдается переход в мономинеральные кварцевые породы (монокварциты). С увеличением количества серицита, что обычно характерно для рудных тел, вторичные кварциты переходят в серицит-пиритовые породы (серицитолиты). Серицит, представляющий существенную составную часть кварцитов, нередко частично переходит в гидрослюду и ассоциирует с монтмориллонитом. На серицитовую фацию накладываются метасоматическое и прожилковое окварцевание, хлоритизация и карбонатизация. Кварцевые прожилки содержат хлорит, железистый карбонат, доломит, карбонат и несут полиметаллическую минерализацию в ассоциации с золотом.

Микроскопические исследования позволили выделить следующие зональные фации от периферии к центру: 1) пропилитовая, объединяющая сильно хлоритизированные, серицитизированные, альбитизированные, калишпатизированные, карбонатизированные и пиритизированные породы; 2) каолинитовая; 3) серицитовая; 4) диаспоровая; 5) монокварцевая [1, 2].

Золото-пиритовая минерализация тяготеет к серицитовой фации. Широкое развитие на участке серицитовой фации создало благоприятные предпосылки для проявления золото-серебряной минерализации. Монокварцевая фация развивается внутри серицитовой фации, где образует короткие линзы или желвакообразные стяжения. Мощность линз не превышает первых метров, а протяженность – первых десятков метров. Прочные монокварцитовые породы несут равномерную вкрапленность пирита и выделяются в рельефе положительными формами.

Главные золотоконцентрирующие минералы: пирит, кварц, серицит. Ценным компонентом является самородное золото. К числувторостепенных редко встречающихся относится целый ряд рудных минералов, определяющих геохимическую специфику рудообразования на месторождении (таблица 1). В числе редких особенно следует отметить теллуриды: золота (калаверит), висмута (цумоит), золота и серебра (петцит).

По результатам микроскопических исследований наиболее распространены кварц-серицитовые метасоматиты в различной степени пиритизированные, вплоть до серицитолитов. Значительно редки хлорит-кварц-серицитовые метасоматиты. Среди них серицитолиты наиболее обогащены самородным золотом. Визуально они отличаются присутствием пятен или прожилков

Таблица 1 – Минеральный состав руд месторождения Коккия

Главные	Второстепенные и редко встречающиеся минералы	Ценные и редкие микроминералы
Рудные		
Пирит (несколько генераций)	Халькопирит, Галенит, Сфалерит, Пирротин, Тетраэдрит, Теннатит, Голдфилдит*, Рутил, Ильменит, Касситерит, Магнетит, Гематит, Молибденит, Шеелит Арсенопирит, Ярозит* Ковеллин, Гетит, Гидрогематит, Лейкоксен	Золото Калаверит Цумоит* Петцит* Алтаит Висмутин* Теллуровисмутин Теллур самородный Моусонит? *
Нерудные минералы		
Кварц Серицит	Пирофиллит Кальцит Хлорит Мусковит Барит Каолинит Монтмориллонит	Циркон Монацит Крандаллит* Роговая обманка Сфен Цуниит Альбит Калишпат
*Минералы, установленные при исследовании технологической пробы первичной руды месторождения Коккия.		

пирита светло-желтоватого цвета в массе серицитолита, которые могут переходить в густовкрапленную колчеданную руду. Пятна или прожилки пирита мощностью до 2,5 см. Метасоматиты в различной степени прокварцованы, местами карбонатизирваны.

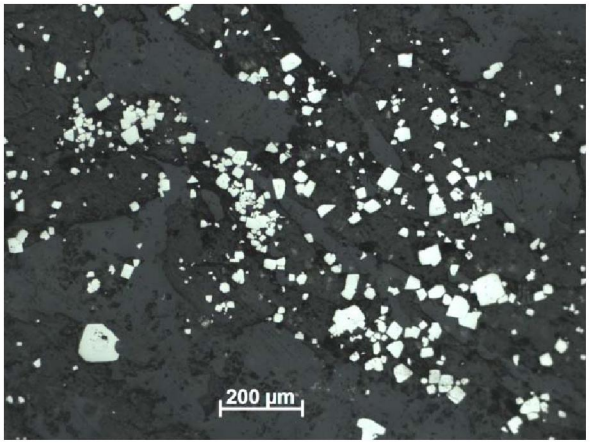
Пирит – главный рудный минерал. Он образует рассеянную вкрапленность в метасоматитах, от редкой до густой. Встречается в виде гнезд и линзовидных выделений размером до 1-2 см. Пирит представлен несколькими генерациями.

Пирит I – кубической формы в виде мелкой рассеянной вкрапленности (от 0,01 до 0,05 мм и иногда до 0,1 мм) в массе хлорит-кварц-серицитового метасоматита темно-зеленоватого цвета, приурочен к хлориту и серициту (рисунок 1/1).

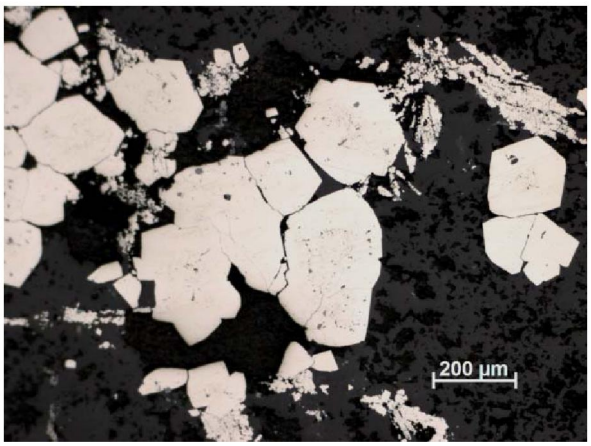
Пирит II – в резко подчиненном количестве, мелкозернистый, в виде прожилковидно-цепочечных образований, развитый по-видимому по неустойчивому марказиту и в результате перекристаллизации переходящий в пентагондодекаэдрический, октаэдрический и реже кубический ***пирит III*** (рисунок 1/2).

Пирит III – пентгондодекаэдрической, октаэдрической, кубической форм в виде вкрапленности и сростков, приурочен преимущественно к серициту, более крупные зерна содержат включения рутила (рисунок 1/3). В пирите III по трещинкам развиваются более поздние халькопирит, галенит, размером от 0,01-0,015 до 0,03 мм. Отмечаются единичные включения арсенопирита в пирите III и сростки молибденита с пиритом в кварце. Отмечается густовкрапленный Пирит III в серицитолите, интенсивно корродированый, пористый, засорен включениями нерудных, по сохранившимся граням пентагондодекаэдрический и кубический. Размер зерен до 0,4 мм. В таком корродированном пирите золото находится в тесных срастаниях с теллуридами золота, серебра и свинца.

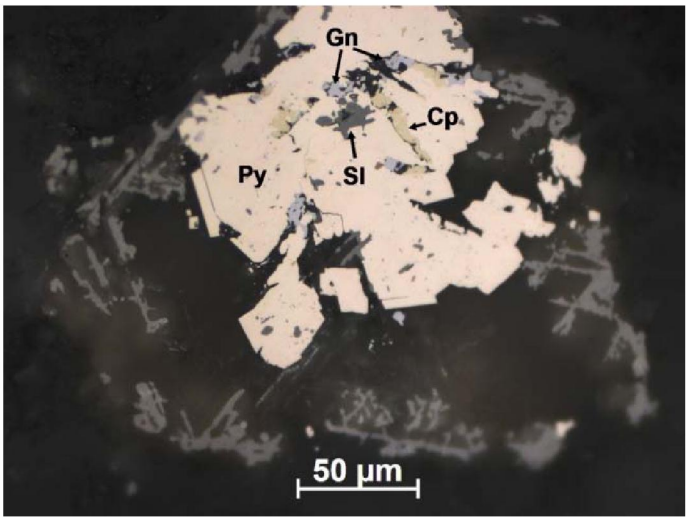
Пирит IV – более крупный (от 0,1 до 0,3 мм) в виде сростков иагрегативных выделений в массе метасоматита. Агрегативный пирит разбит трещинками, по которым развиваются более поздние сфалерит, галенит и халькопирит (рисунок 1/3). Сростки и агрегативные выделения пирита размером до 0,5х1,5 и 0,5х2,0 мм.



1



2



3

Рисунок 1 – Пирит в различных генерациях:
1 – Пирит I мелкозернистый кубической формы в хлорите и сериците. Аншлиф 84;
2 – Пирит II прожилковидный и Пирит III пентагондодекаэдрический. Аншлиф 86; 3 – IV агрегативный (Py).
Зерна его замещаются минералами титана. Между зерен его галенит (Gn), халькопирит (Cp) и сфалерит (Sl). Аншлиф 84

Пробность самородного золота издавна привлекала внимание ведущих ученых мира, рассматривающих её как типоморфный признак, обусловленный физико-химическими условиями образования золоторудных месторождений. В частности, В.В. Щербина [3] ещё полвека назад придавала отношению Au/Ag значение геохимического индикатора миграционной способности золота и серебра и причин их геохимической дифференциации в различных геологических процессах. Важность этого параметра, как критерия определенных условий формирования конкретных золоторудных и золото-серебряных месторождений при их классификации и формационной идентификации отмечается в многочисленных работах многих исследователей [4, 5]. Так для пробности самородного золота предложена классификация золоторудных месторождений по шести основным типам. По их оценкам для плутоногенного типа диапазон вариации пробности Au составляет 650–970‰, для порфирового – 650–1000‰, для вулканогенного – 520–870‰, для эпитермального – до 1000‰. Ряд ученых считают, что пробность золота возрастает с увеличением температуры и глубины рудообразования. В частности, И.В. Петровская с соавторами констатирует, что золото в высоко-температурных глубинных месторождениях высокопробное, среднеглубинных – среднепробное, а малоглубинных – изменяется в широком диапазоне и определяется температурным режимом, хотя она и не отрицает существенного влияния на состав Au pH и Eh среды. Другие напротив, на основе детальных исследований по растворимости Au-Ag сплавов

считают, что на пробность золота влияют, в основном, кислотность-щелочность гидротермальных растворов и содержание в них серы и лишь в меньшей степени она зависит от температуры, а также окислительно-восстановительный потенциал, состав гидротерм, давление, не приводя при этом достаточного термодинамического обоснования [5, 6]. Существенный вклад в понимание зависимости пробности золота от физико-химических условий рудообразования внесли осуществленные в последнее десятилетие экспериментальные исследования по растворимости золото-серебряных сплавов и проведенное на их основе термодинамическое моделирование совместного переноса и отложения соединений Au и Ag в хлоридных, хлоридно-сульфидных и сульфидных гидротермальных растворах [7, 8]. Но, в основном, они касались лишь систем, равновесных с пирит-пирротиновым буфером.

Иной подход, основывающейся на применении методов физической химии, обоснован фундаментальными исследованиями термодинамики процессов минералообразования корифеев советской и зарубежной геологической науки [9-11]. Они базируются на результатах экспериментального изучения, полученных при этом термодинамических константах и, главным образом, на электрохимическом анализе окислительно-восстановительных процессов образования, миграции и разрушения комплексов золота и серебра в различных по кислотности-щелочности и редокс-потенциалу гидротермальных растворов. Расчет свободной энергии и окислительного потенциала различных комплексов благородных металлов позволяет оконтурить поля их устойчивости на диаграммах Eh – pH и определить ход эволюции гидротермальной системы при формировании золоторудных месторождений. Такие исследования позволяют рассматривать направленность окислительно-восстановительных реакций различных соединений, устойчивость и реакционная способность которых предопределяется Eh – pH гидротермальной системы [12, 13].

Состав минералов служит одним из главных источников информации о физико-химических условиях рудоотложения, поэтому выявление причинно-следственных связей между составом минералов и характеристиками минералообразующих процессов является важнейшей задачей генетической минералогии. Не менее важно это и в практическом отношении для разработки минералогических прогнозно-оценочных критериев.

По данным Н.В. Петровской [3] влияние температуры на вхождение Ag в структуру кристаллизовавшегося золота не является определяющей. Нет также достоверных оснований для вывода о значении общей концентрации Ag в верхних частях зоны гидротермальной деятельности, то есть не наблюдается прямая зависимость пробы золота от богатства месторождений серебром. Кроме того накоплен большой фактический материал, которые противоречит известным выводом А.Е. Ферсмана о закономерном очищении минералов на поздних стадиях рудоотложения (принцип автолизии). В литературе приводится еще один фактор - степень пересыщения растворов, при которой идет кристаллизация данного минерала [14]. Авторы этой работы на основании детального изучения типоморфных особенностей основных минералов золоторудных месторождений пришли к выводу, что между параметрами гидротермальных растворов и конечным результатом (состав минералов) имеет место степень пересыщения растворов, которая регулирует поведение изоморфных примесей.

В лексиконе минералогических и технологических описаний прижились понятия низкопробное и высокопробное золото, заменяющие цифровые обозначения содержаний серебра в минерале (таблица 2). Иногда граница таких содержаний определяется разными исследователями неодинаково. При этом исключен электрум, как особый минеральный вид.

Таблица 2 – Пробность золота (по Н.В. Петровской)

Границы содержаний	Пробность, ‰
Весьма высокопробное, почти чистое	998-951
Высокопробное	950-900
Умеренно высокопробное, средней пробы	899-800
Относительно низкопробное	799-700
Низкопробное	699-600
Весьма низкопробное, высокосеребристое	< 600