

МАЙДА ДИСПЕРСТУУ АЛТЫНДЫН СУЛЬФИДТЕ ЖАЙГАСУУСУНУН АНЫКТОО
МАСЕЛЕСИ

PROBLEMS AND RESEARCH METHODS OF FINE DISPERSED GOLD IN SULPHIDES

Момбеков Ч.

Институт геологии НАН КР, E-mail: Chingiz_8789@mail.ru

Широко распространенные и выявленные в последние десятилетия гигантские и крупные месторождения золота в черных сланцах стали важным источником добычи этого драгоценного металла и сопутствующих ему платиноидов и других редких и благородных металлов. Однако, на ряде месторождений из-за очень мелких размеров тонкодисперсного золота диагностирование его традиционными методами бывает затруднено. Актуальным остается вопрос выявления форм вхождения благородных металлов, в частности золота, в структуры минералов-носителей для последующих научных построений в области рудообразования, а также для целенаправленного выбора технологических схем извлечения полезного компонента при переработке руд.

Giant and large prevalent deposits of gold that have been found in the last ten years in the black schist have served as an important source of gold mining and of its associated platinoids and other rare and noble metals. However, diagnostics of fine-dispersed gold in some occurrences using traditional ways is difficult due to its small sizes.

In any case, a pressing issue, nowadays, is to determine forms of noble metals', particularly gold's, entry to the structures of minerals-carriers for further scientific constructions in the field of ore formation, and for a purposeful choice of extraction technological schemes of a useful component in the processing of ores.

Широко распространенные и выявленные в последние десятилетия гигантские и крупные месторождения золота в черных сланцах стали важным источником добычи этого драгоценного металла и сопутствующих ему платиноидов и других редких и благородных металлов. Однако, на ряде месторождений из-за очень мелких размеров тонкодисперсного золота диагностирование его традиционными методами бывает затруднено.

К примеру, открытие в штате Невада месторождений Карлин типа, которые в данный момент играют важную роль в общем балансе запасов и добычи золота в США, показало, что наличие свободного золота размером менее 1 микрона в диаметре могло быть установлено только при помощи электронной микроскопии. В основном же эти выделения имеют размеры ниже разрешающей способности электронной техники, что не позволяет фиксировать их при обычной шлиховой съемке.

На месторождениях Карлин типа установлено 2 типа руд: углеродистый и оксидный. Углеродистые руды представляют собой темно-серые до черных, пиритизированные, карбонатно-алевритовые сланцы с содержанием золота до 30г/т. Породы повсеместно окремнены. Большую часть составляют кремнистые упорные руды, требующие тонкого измельчения. Это тонкая

субмикроскопическая вкрапленность металлического золота или золотоносных сульфидов, заключенных в непроницаемый матрикс микрокристаллического кварца, халцедона или кремня. Поры здесь размером менее микрона заполнены поздними формами кремнезема. Последние препятствуют достижению цианидного раствора до тончайших включений золота. Золото тесно ассоциирует с реальгаром, аурипигментом, арсенипиритом и киноварью (Марченко, 2010).

Помимо отмеченных выше месторождений Карлин типа, в мире известно большое количество крупных и гигантских золоторудных месторождений, таких как Кумтор в Кыргызстане; Мурунтау, Даугызтау, Амантайтау и др. в Узбекистане; Бакырчык, Суздальское и др. в Казахстане; Сухой Лог, Майское, Олимпиадинское в России, Хоумстейк в США, а полиметаллические, серно-колчеданные, колчеданно-полиметаллические месторождения (Маунт-Айза, Броккен-Хилл, Раммельсберг) и многие другие - в сульфидизированных черных сланцах.

На Кумторе золото-вольфрамовые руды приурочена к метосоматитам и содержат в среднем (г/т) Au-4,26; Pt-1,06; Pd-2,46. При общей сумме платиноидов $2,40 \times 10^{-5}$ мас. % Pd и иттрий составляет от 66 до 79 отн. %. Платиновые минералы развиваются на контакте серицита и

графита, образуют локальные аномалии размером 1,5-2,0 мкм. Минералами концентраторами платиноидов являются самородное Au, Ag и теллуриды (Л.Г. Марченко 2010).

Отработка месторождений и параллельное изучение их минерального состава ведутся сотни лет, однако далеко не изучены условия концентрации, формы нахождения золота и других полезных компонентов в сульфидах, да и в углеродистом веществе. Эта проблема отмечалась многими исследователями, поскольку она является определяющей не только для понимания процессов накопления, транспорта и отложения рудных элементов, но и для эффективного извлечения их из руд месторождений данного типа.

Проблема диагностики тонковкрапленного золота в настоящее время приобретает особое значение, поскольку вполне реально наличие в Кыргызстане месторождений Карлин-типа не оцененных как промышленные объекты. С этих позиций значительный интерес представляют информативные минералы-сульфиды: пирит, арсенопирит, халькопирит и многие другие, которые детально описаны многими исследователями. Из всей этой многочисленной группы сульфидов можно выделить пирит и арсенопирит.

Появившиеся в настоящее время высокоразрешающие и высокочувствительные приборы позволили далеко продвинуться в области диагностики и форм размещения рассеянных элементов в минералах-носителях. Такие исследования, проведенные на масс-спектрометре (LA ICP MS – Laser Ablation-Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry) могут дать ценный материал по распределению отдельных элементов в пирите, начиная с ранних его генераций (от осадочно-диагенетического) до последних его генераций, сформированных в гидротермальном процессе. С помощью этих исследований можно проследить весь путь первичного накопления, перераспределения и последующей миграции золотин. Такие исследования были проведены для крупного месторождения Сухой Лог (Россия) коллективом исследователей из Университета Тасмании и Российскими учеными (Large, et al., 2007, 2009).

Пристальное внимание в данный момент к этим минералам обусловлено еще и тем, что основная часть благородных металлов, как отмечалось выше, сконцентрирована в сульфидах. Содержание золота в них на золоторудных и комплексных золотосодержащих месторождениях обычно составляет несколько граммов, но нередко достигает более высоких значений.

Формирование крупных и суперкрупных месторождений в углеродсодержащих породах сопровождается, как правило, формированием региональных зон сульфидизации (пиритизации) с первичным накоплением в пирите рассеянного золота (Константинов и др., 2000; Дженчураева, 2010).

Несмотря на то, что золотосодержащий пирит более 100 лет является объектом пристального внимания исследователей и признан как природный концентратор золота, механизмы накопления и формы нахождения золота в нем еще не полностью изучены. Роль пирита в процессах концентрирования золота значительно выше, чем всех остальных сульфидов. Пирит является наиболее распространенным и сквозным минералом золоторудных и золото-серебряных месторождений.

Исследования сульфидных руд показали, что золото в пирите помимо «свободного» видимого самородного золота, в своей преобладающей части присутствует в виде субмикроскопических, ультрадисперсных выделений. Размер золотин в сульфидах может широко колебаться от наночастиц (это 1×10^{-9} м) до 150 микрон и выше. Мессбауэровская и фотоэлектронная спектроскопия позволила установить наличие металлической и изоморфной форм золота. Кроме того, с помощью нового высокоразрешающего метода на сканирующем ионном микро зонде (SIMS) при концентрационной чувствительности 0,1 г/т Au хорошо различается золото, входящее в структуру сульфидов и золотины в виде микровключений. Высокие содержания рассеянного золота установлены таким методом в мышьяковистом пирите назолоторудных месторождениях Карлин-типа. По данным Л.Г.Марченко (2010) метод рентгеновской абсорбции позволил определить присутствие золота не только в виде субмикронных включений, но также и в ионной форме (Au^{1+}) двойной и четверной координации. Высокая положительная корреляция золота и мышьяка для проб пирита свидетельствует о приуроченности золота к участкам, обогащенным мышьяком. Возможно, это связано с адсорбцией частиц золота на поверхностях роста арсенопирита или расположением золота в дефектах кристаллической решетки сульфидов.

В свое время, изучая формы нахождения золота в рудах, Н.В.Петровская (19...) в своей монографии использовала понятие «тонкодисперсное золото», к которому относилась частицы (но не атомы золота) размером от долей микрона до 10 микрон, и подчеркивала, что эта форма нахождения золота в эндогенных месторождениях является универсально распространенной. Помимо этого к существующему так называемому «невидимому золоту» следует отнести тонкодисперсное золото, не выявляемое оптическими методами (коллоидальное, кластерное), а также химически связанное золото в сульфидах. Поэтому данные по распределению невидимого золота в рудах и отдельных минералах имеют большую ценность для разработки рациональных схем обогащения руд.

Основным источником золота являются широко распространенные месторождения вкрапленных золотых руд, которые большое

значение приобретают в случае, если они представлены большими запасами золота. Эти источники могут обладать упорными свойствами (например, черносланцевый тип, или наличие вредных примесей, таких как мышьяк).

Многие золотосульфидные месторождения характеризуются присутствием максимально золотосодержащего арсенопирита, который имеет наиболее высокие серно-мышьяковые отношения. Такой арсенопирит был установлен на крупных Российских месторождениях золота: Майское, Наталкинское, Надеждинское, Олимпиада и Ведуга. По данным Л.Г.Марченко (2010), если состав арсенопирита в рудах близок к стехиометрическому, то содержания в нем золота гораздо ниже, чем в рудах с арсенопиритом с нестехиометрическими свойствами. Как пример, приводятся месторождения Майское, Наталкинское, где в составе арсенопирита выявлены высокие величины серно-мышьякового отношения (1, 25:1,35) и соответственно высокие содержания золота (Майское от 500-1100 г/т, Наталкинское от 140-470 г/т.). При содержании серы 19,7% в арсенопирите со стехиометрическим составом, в Наталкинском месторождении, арсенопирит имеет повышенные содержания серы (23,22%), а в Майском - до 24,66% серы. Размер зерен арсенопирита от 20-25 до 25-150 микрон. А вот пирит в вышеперечисленных месторождениях менее золотосодержащий, чем арсенопирит и содержит в среднем до 60 г/т золота. В этой связи, максимально золотосодержащим считается арсенопирит с наиболее высоким значением серно-мышьякового отношения. Для месторождений черносланцевого типа с вкрапленными рудами характерно наличие арсенопирита именно с явным преобладанием серы над мышьяком.

Что касается пирита, то по данным рентгеноспектрального сканирования пирит Майского месторождения имеет высокие содержания мышьяка, который приурочен к периферии метакристаллов, в виде тонкой каймы вокруг зерна пирита. Поскольку возможности обнаружения с помощью электронного зонда наночастиц ниже уровня его чувствительности, то золото в каемках пирита вкрапленных руд месторождения Майское не было обнаружено.

В рудах месторождения Карлин (США) именно в этих узких каемках толщиной в 1-4 микрона вокруг метакристаллов пирита наблюдаются высокие содержания золота. Размер золотин по данным фотоэлектронной спектроскопии соразмерен с наночастицами.

Следует коротко остановиться на месторождениях золото-кварцевого и редкометального типов. Для них характерно присутствие арсенопирита в прожилках с составом близким к стехиометрическому (S:As=0,9:1,14). Следует отметить довольно широкий список месторождений такого типа, где наблюдаются месторождения со значительным

содержанием золота в арсенопирите. Наиболее высокие значения обнаружены на месторождениях Ля Шантеле и Вилеранж (Франция), что составляет 12000-13000 г/т, Конгресс (Канада)-13000г/т. Однако на этих месторождениях арсенопирит имеет высокие значения отношений мышьяка к сере.

По данным мессбауэровской спектроскопии в большинстве случаев на месторождениях «черносланцевого» типа с золотосульфидными вкрапленными рудами золото находится либо в арсенопирите в виде химически связанного в его структуре, либо в самородном состоянии с размером частиц в 2 нанометра.

Золото определено в золотосодержащем арсенопирите с помощью вторичной ионной масспектроскопии и составляет: на Олимпиаде-4700 г/т, Ведуга-1140 г/т, Надеждинском-1400 г/т. Важно отметить, что самородное золото образовалось позже самого золотосодержащего арсенопирита.

Многие исследователи вслед за Н.В.Петровской полагают, что преимущественная концентрация золота в ранних сульфидах обусловлена избирательным осаждением золота в этих сульфидах при воздействии на них поздних золотосодержащих растворов, что установлено для месторождений золото-кварцевого типа руд. Другое мнение говорит, за формирование основной части золота в изученном арсенопирите в процессе совместной кристаллизации на ранних стадиях рудообразования.

В любом случае, на сегодняшний день актуальным остается вопрос выявления форм вхождения благородных металлов, в частности золота, в структуры минералов-носителей для последующих научных построений в области рудообразования, а также для целенаправленного выбора технологических схем извлечения полезного компонента при переработке руд.

Литература:

1. *Дженчураева Р.Д.* 2010. Геодинамика, магматизм и минерогенез (на примере Тянь-Шаня и прилегающих территорий). Илим, Бишкек. 223с.
2. *Константинов М.М., ...* 2000. Золоторудные гиганты мира и России. М.
3. *Марченко Л.Г.* 2010. Микро-наноминералогия золота и платиноидов в черных сланцах. Алматы, 146с.
4. *Мурзин.* 2001
5. *Large, R.R., Maslennikov, V., Robert, F., Danyushevsky, L.V., and Chang, Z.* 2007. Multistage sedimentary and metamorphic origin of pyrite and gold in the giant Sukhoi Log deposit, Lena gold province, Russia // *ECONOMIC GEOLOGY*, vol.102, p. 1232–1267.
6. *Large, R.R., Danyushevsky, L.V., Hollit C., Maslennikov, V., Meffre S., Gilbert S., Stuart B., Scott R., Emsbo P., Thomas H., Sinch B., and Foster J.,* 2009. Gold and Trace Element Zonation in Pyrite Using a Laser Imaging Technique: Implications for

the Timing of Gold in Orogenic and Carlin-Style
Sediment-Hosted Deposits // *Economic Geologists*,

Inc. *ECONOMIC GEOLOGY*, vol.104, p. 635–668.