Записки Ленинградского ордена Ленина Горного института
Том XVII—XVIII, 1948

Дисперсные включения золота в сульфидах железа

Проф. *И. Н. Масленицкий*

В последние годы масштабы добычи и обогащения руд цветных металлов в СССР приняли небывалые размеры. В эксплоатацию введены фабрики с суточными производительностями в тысячи тонн руды. При таких производительностях абсолютные потери золота в хвостах делаются ощутительными, так как каждый грамм золота, теряемый в тонне хвостов, составляет значительную величину, выражающуюся в годовом разрезе в сотнях килограммов и даже в тоннах. Поэтому вопросу снижения потерь золота в хвостах при обогащении руд цветных металлов в настоящее время уделяется особое внимание.

Для того чтобы надежно и правильно решать задачу доизвлечения золота, теряемого в хвостах обогатительных фабрик, в первую очередь необходимо установить, в какой форме находится теряемое золото.

Наличие в большинстве руд цветных металлов значительных количеств пирита, уходящего одновременно с золотом в хвосты, дало основание объяснить потери золота в хвостах его тесной ассоциацией с пиритом. Однако во многих случаях такие предположения не имеют экспериментально проверенных обоснований. Необходимо установить, действительно ли золото тесно связано с пиритом и находится в нем в состоянии столь тонкой вкрапленности, что не освобождается при самом интенсивном измельчении и остается недоступным для растворителей в последующих операциях гидрометаллургической обработки.

1. Геолого-минералогические данные о наличии тонковкрапленного и субмикроскопического золота в пирите

Связь золота с пиритом в некоторых месторождениях была констатирована очень давно — еще в конце XIX столетия. Однако вскоре мнения разделились и создаются предположения: одно — что золото в основном находится на гранях кри-

сталлов пирита, другое — частицы золота располагаются по трещинам внутри кристаллов пирита.

Совершенствование техники минераграфических исследований с 30 гг. XX столетия позволило, в противовес прежним выводам, выдвинуть положение о наличии в некоторых золотосодержащих пиритах внутренних мелких и субмикроскопических включений.

Применение в США машинной полировки шлифов для минераграфического исследования, обеспечивающей получение зеркальных безрельефных плоскостей, настолько уточнило эти методы, что ряд исследователей с бесспорностью подтвердили наличие в золотосодержащих пиритах Америки внутренних дисперсных включений золота.

О существовании такого золота в наших пиритах первое предположение было высказано еще в 1896 г., при исследовании продуктов выветривания и окисления пиритов из Оренбургской губернии.

Акад. А. А. Заварицкий [1] в своих работах по месторождениям золота на Южном Урале и по колчеданным рудам Урала во многих случаях считает пирит первоисточником золота.

В. Я. Мостович [2] на основании исследования обогатимости золотосодержащих медных и медно-цинковых руд Урала приходит к выводу, что потери золота в хвостах объясняются его тесной связью с пиритом, в котором золото находится в состоянии чрезвычайно тонкого вкрапления. Автор впервые указывает на присутствие в пирите Ольховского месторождения мельчайших включений золота.

В 1939 г И. Н. Масленицкий и И. В. Лангваген [3] установили наличие высоко дисперсных включений золота в пиритах флотационных хвостов обогатительной фабрики Красноуральского медеплавильного завода и в пиритах хвостов от обогащения свинцово-цинковых руд Сокольного месторождения, а в 1940 г. И. Н. Плаксин [4] и Л. И. Цукерман констатировали включения золота в риддерских пиритах.

А. А. Иванов [5] в своих исследованиях руд Айдырлинского месторождения установил присутствие тонкодисперсного золота в зернах пирита и арсенопирита.

Таким образом, на основе отечественных и заграничных работ можно считать достоверно установленным факт часто встречающейся тесной связи золота с пиритом.

Существование дисперсных включений золота, замкнутых внутри кристаллов пирита, как уже указывалось выше, долго служило предметом спора между отдельными исследователями и даже в некоторых работах последнего времени нередко высказываются сомнения в возможности существования таких внутренних включений. Правильная ориентировка вопроса может быть дана лишь на основе геохимии пирита и золота.

Как известно, по вопросу о возможных условиях образования золотых месторождений существуют разные точки зрения [6]. Учитывая эти различные взгляды на геохимию золота, можно выска-

зать, как наиболее вероятное предположение, что не может быть единой для всех месторождений схемы выделения золота и что причиной разногласий является часто только недостаточность фактического материала. Кроме того, как нам кажется, несовершенство методики препарирования минераграфических шлифов в старых работах во многих случаях не позволило правильно установить генетические соотношения золота с другими минералами (например с пиритом), а следовательно, и трактовка последовательности выделения минералов могла оказаться неточной, хотя бы и по отношению к части золота.

Сопоставление геохимических диаграмм различных авторов (Эммонс, Ферсман) дал нам основание считать, что в некоторых месторождениях имеется золото, выделявшееся одновременно с пиритом. Одновременное выделение малых, по сравнению с пиритом, количеств золота должно было иметь неизбежным следствием диспергацию последнего в пирите.

В целях пополнения наших знаний в вопросе о природе дисперсных образований золота в пирите нами была проведена излагаемая ниже экспериментальная работа синтеза сульфидов железа и золота. Наши исследования были ограничены областью высокотемпературных образований и выделений пирротина, пирита и золота, так как на основании сказанного выше именно в этих условиях можно ожидать высокодисперсных образований золота в сульфидах железа.

II. Синтез золотосодержащего пирротина

Как известно, еще в 1896 г Маклорен провел первую экспериментальную работу по приготовлению тиоауратов золота, серебра, меди и железа путем сплавления их в присутствии избытка серы. Маклорен, по данным химических анализов продуктов плавки, не получил тиоауратов железа определенного состава. Отсутствие в работе минераграфического анализа не позволяет судить о характере полученных им образований.

Мы повторили опыт Маклорена по сплавлению золота и железа в эквивалентных количествах в присутствии избытка серы, непрерывно вводившейся в расплав сверху по фарфоровой трубке. После охлаждения тигля было констатировано, что основная масса золота (99%) отслоилась на дне тигля, что указывало на крайне ограниченную в наших условиях растворимость золота в сульфиде железа. Промежуточный слой расплава между золотом и шлаком (бура) представлял собою сульфид железа, очень хрупкий и рассыпающийся при лежании на воздухе, при действии соляной кислоты выделяющий сероводород. По данным пробирного анализа сульфид содержал большое количество (1,97%) золота. При минераграфическом исследовании сплава (в измельченном состоянии после удаления избыточной серы растворением в сероуглероде) было констатировано, что полученный в результате двукратной плавки продукт в основном состоял из типичного пирротина. В значительно меньшем количестве присутствовал

буро-розовый (возможно более богатый серой сульфид железа), а также неизвестный сульфид светлосерого цвета с высокой отражательной способностью.

Анизотропный буро-розовый сульфид имеет низкую твердость; на воздухе тускнеет; цвета интерференции — от светложелтого через зеленый до яркооранжевого.

Светлосерый (почти белый) сульфид обычно тесно ассоциирован с пирротином, но встречается и в форме свободных выделений чаще всего 1—5 μ, реже 20—25 μ. Разбавленной HCl — травится, буреет; от концентрированной HCl покрывается ирризирующим налетом; от H_2SO_4 покрывается серым трудно стирающимся налетом.

Как при малом (~ 300), так и при большом увеличении (~ 1200) выделений свободного золота в шлифах синтезированного пирротина констатировано не было. В буровато-розовом сульфиде в шлифах были констатированы очень частые выделения золота — каплевидные и удлиненной формы (5—7μ) и мельчайшие (< 1 μ) включения в буровато-розовом сульфиде. Приводимая микрофотография (рис. 1) дает пример точечных дисперсных выделений золота (0,5μ) внутри зерна сульфида железа. По данным пробирного анализа синтезированный сульфид железа в среднем содержал 0,412% золота (4120 г/т).

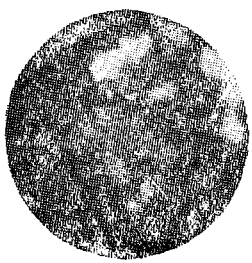


Рис. 1.

При амальгамации продукта синтеза золото не извлекалось. Цианированием в течение 240 часов крепкими растворами цианида (1,0% KCN) извлекались лишь следы золота.

Проведенные опыты плавки сульфидов качественно показали ограниченную растворимость золота в сульфидах железа в условиях обычного сплавления сульфидов. Кроме того, удалось экспериментально показать являющуюся следствием этого способность золота давать при остывании расплавов высокодисперсные образования внутри кристаллов сульфидов железа.

III. Синтез сульфида золота

Констатация в сплавах железа, серы и золота ярких светлых включений дала основание предположить возможность существования в этих условиях сульфида золота. Как известно, синтезированные в лабораториях сульфиды золота считаются малоустойчивыми соединениями. В настоящее время считается, что при осаждении на холоду сероводородом из 1—3% раствора хлорного золота получается сульфид, близкий к Au_2S_3, обычно содержащий дисперсное золото, образующееся вследствие взаимодействия хлорного золота с выделившимся сульфидом и образующейся при осаждении серной кислотой.

В целях определения хотя бы основных минераграфических констант такого сульфида, мы получили осаждением при +8° С

из раствора хлорного золота по Лючези сульфид золота. После отделения раствора фильтрацией, осадок осторожно высушивался при +10° С, после чего промывался сероуглеродом (для растворения свободной серы), высушивался спиртом и ацетоном. Полученный темный, слегка коричневатый порошок был подвергнут прессовке при давлении 5000 кг/см^2 и одновременном нагреве до 160—165° С. В результате получился компактный продукт, легко раскалывающийся по плоскостям (вдоль линии сжатия), темносерого свинцового цвета с блестящей поверхностью в изломе. Химический анализ дал содержание золота 78,85% и 78,99% и серы соответственно 18,82 и 19,10%, т. е. полученное вещество по составу было близко к сульфиду Au_2S_3 (Au =80,39% и S = 1961%). После полировки поверхность синтезированного продукта приняла зеркальный серебристый вид.

Минераграфический анализ показал, что помимо основного однородного вещества, в последнем наблюдались иногда мелкие включения золота (1—2 μ) и выделения, отличающиеся по цвету от вмещающего материала. Результаты минераграфического анализа нескольких образцов сульфида сведены в табл. 1.

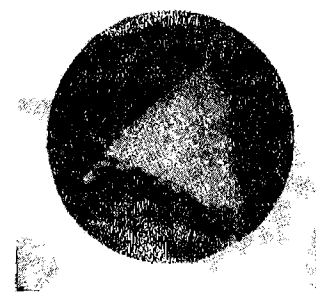


Рис. 2.

Внешний вид и минераграфические константы позволяют считать что нами было препарировано вполне индивидуализированное соединение, которое на основании данных химического анализа можно с достаточным основанием считать за сульфид золота. Правда, произведенный рентгенографический анализ не позволил установить в синтезированном сульфиде четко кристаллизованного химического соединения. Низкая интенсивность линий дебайеграммы, видимо, объясняется высокой степенью дисперсности слагающих сульфид кристаллов. Однако, в согласии с минеграфическим анализом, можно утверждать, что синтезированный продукт не представляет собою механической смеси серы и золота, так как линии на дебайеграмме, несмотря на нечеткость, не соответствуют линиям эталонов серы и золота. Однородность препарата под микроскопом дает полное основание считать его криптокристаллическим сульфидом с ничтожными относительно выделениями металлического золота. Этот сульфид при обычной температуре стоек по отношению к минеральным кислотам, разлагается цианистым калием с переходом золота в раствор. При нагреве выше 200° С сульфид начинает разлагаться с выделением золота вначале в форме точек и мелких образований неправильной формы (рис. 2); при последующем нагреве превращается в сплошной агрегат выделений неправильной формы. Такая картина внешне несколько напоминает констатированную Фишером в рудах Рэнда ассоциированность золота с неизвестным серым сульфидом.

Возможность препаривания устойчивого сульфида золота

Таблица 1

Характеристика синтезированных сульфидов золота

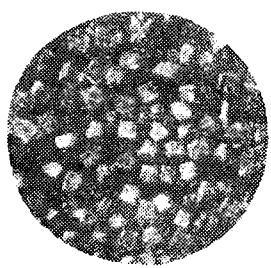
	Характеристика основной вмещающей массы	Характеристика включений	
		Светлые включения	Розовые включения
Цвет	Серый, кремовосерый Против PbS — светлосерый ZnS — серовато-бел Au — серый	Светлый, белый Против основного сульфида — белый Против PbS — белый Ag — серовато-белый Au — белый	Розовато-лиловый Против пирротина лиловый Против Au — красновато-лиловый — —
Отношение к поляризованному свету	Анизотропен	Очень слабо анизотропен	Анизотропен
Травление конц. (1 1) HCl конц. (1 1) HNO_3	— От паров буреет, выявляется золото —	—	—
Раствор $AgNO_3$	Слегка буреет золото, налет стирается, выявляется золото	Прочное коричневое пятно. Буреет, налет стирается	Слегка бледнеет.
Раствор KCN	Слегка буреет, налет стирается, золото блекнет		Слегка разъедается.
Форма выделения.	Зернистый агрегат	Участки неправильной формы, каплевидные включения	Участки неправильной формы

с определенными физическими и химическими константами заставляет более внимательно относиться к необычным минеральным выделениям в золотосодержащих рудах, учитывать и по возможности точно определять их состав и свойства.

Нам казалось, что экспериментальное исследование формы выделения золота в пирите, образующемся из низкотемпературных расплавов и в результате воздействия на породы сернистых эманаций, представляет несомненный интерес и практическую ценность. Поэтому с целью приближения к условиям, близким пневматолитическим процессам, в последующих опытах был осуществлен синтез золотосодержащего пирита при температурах 400°—500° и повышенном давлении паров серы.

IV. Синтез золотосодержащего пирита

Синтез пирита был осуществлен по Веллеру путем нагревания смеси серы, окиси железа и хлористого аммония. Такая смесь нагревалась до полного удаления хлористого аммония:



Рис

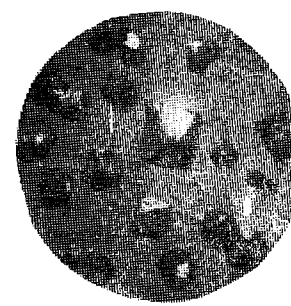


Рис. 4.

образовавшийся пирит отделялся от непрореагировавшей массы водой. Никаких указаний о составе исходной смеси (соотношение отдельных компонентов), о температуре ни у Веллера, ни позже у Вайншенка [8], повторявшего опыты первого, не имеется. Поэтому нам пришлось подобрать оптимальный состав смеси, из которой происходит образование кристаллов пирита при температурах в интервале 400—500° Процесс синтеза пирита производился при медленном нагреве до 400—500° С в течение 2—3 часов и при таком же медленном охлаждении. В результате сложных химических реакций вначале на дне и стенках колбы, а затем по всей массе наблюдается образование кристаллов пирита. Интенсивный возгон избыточной серы и конденсации ее в верхней части колбы создают, вследствие закупорки горла колбы, повышенное давление паров серы, что, несомненно, благоприятствует образованию пирита. При правильно проведенном эксперименте получаются типичные весьма совершенные кристаллы пирита латунного цвета, достигающие 1 мм (рис. 3 и 4).

Химический анализ этих кристаллов показал содержание S = 53,48%; Fe =46,49%, что очень близко соответствует формуле FeS_2.

Минераграфическим анализом установлена следующая характеристика. Твердость 4,5—5. Цвет — желтовато-кремовый. По сравнению с пирротином бледнокремовый, против золота белый с кремовым оттенком. По отношению к поляризованному свету — изотропен.

Результаты рентгеновского анализа приведены в таблице 2 параллельно с эталоном природного пирита.

аблица

Данные рентгеновского анализа синтетического пирита

N		Imm	$d/_{n\alpha}$ Å	d nβÅ	FeS_2 (эталон)	S (эталон)
	3	30,0		—		
2		33,00	2,84	2,83		2,85
3	6	35,00	2,68		2,70	
		39,00	2,41		2,42	
		42,80	2,.0	—	2,21	
6		50,00	1,90		1,91	
7	10	59,35	1,63		1,63	
8	4	65,60	1,496	—	1,50	
	8	68,30	1,446		1,45	
10	5	82,80	1,243		1.24	
11	5	85,90	1,211		1,21	
12	6	89,00	1,182		1,18	
13	6	92,40	1,152		1,153	
14	8	98,75	1,105		1,105	
15	10	110,10	1,042		1,041	

— относительная интенсивность линий по 10-бальной системе,

— примеры расстояний между симметричными линиями d nαA и d nβÅ — вычисленные межплоскостные расстояния.

Для сравнения в двух последних колонках приведены литературные данные.

Из таблицы видна полная идентичность линий синтетического пирита с эталоном. Линия серы, возможно, объясняется недостаточно полным удалением из реакционной смеси непрореагировавшей серы.

При синтезе золотосодержащего пирита химически чистая окись железа многократно смачивалась отдельными порциями раствора коллоидного золота и тщательно растиралась в ступке,

после чего поступала на следующее смачивание. Для получения окиси железа с 500 г/т смачивание производилось десять раз, для окиси железа с 10 г/т золота — два раза. После завершения смачивания и высушивания окись железа дополнительно подвергалась измельчению в стальной шаровой мельнице в течение 16 часов.

Несмотря на тщательное измельчение исходной смеси в синтезированном пирите имело место неравномерное распределение золота по отдельным кристаллам. Наряду с зернами, не содержащими золота, были получены богатые золотом кристаллы пирита с содержанием, в несколько раз превосходящим среднее содержание во всем материале. В первой серии опытов из окиси железа (богатой золотом) после удаления избыточной серы в 5% раствора едкого натра был получен пирит с содержанием 321 г/т (Ру I) и во второй — с содержанием 10 г/т (Ру II). Полученные пириты были подвергнуты химическому, рентгенографическому и минераграфическому анализам, которые так же, как и в первый раз подтвердили полную идентичность синтезированного золотосодержащего материала с пиритом.

При минераграфическом исследовании богатого пирита (Ру I = Au = 321 г/т) в шлифах были констатированы редкие включения золота размерами 0,5 μ до 5 μ, чаще 2—3 μ. Распределение включений золота в пирите неравномерное. Приводимые цифры иллюстрируют частоту встречи включений золота в шлифах при просмотре в каждом шлифе 1500—2000 полей.

I шлиф	— включений золота не встречено
II	встречено 5 включений золота
III	12
IV	4
V	7
VI	8

Исходя из высокого содержания золота в первом пирите (321 г/т), расчетом [9] можно определить, что в шести просмотренных шлифах (12 000 полей) при равномерном распределении должно быть констатировано 120 зерен размером 10 μ, 1200 — 3 μ зерен и 12 000 зерен размером 1 Следовательно, оставалось предположить, что большая часть золота в пирите находится в растворенном или высокодисперсном (субмикроскопическом) состоянии или представлена очень крупными включениями.

Чтобы исключить такие крупные включения пирит 1 был подвергнут деликатному гравитационному обогащению в лабораторном коническом пульсаторе. Выход тяжелой фракции (концентрата) составил 1% при содержании золота 452 г/т, остаток содержал золота 312 г/т. Таким образом гравитационное обогащение позволило выделить лишь небольшую часть материала с незначительно повышенной концентрацией золота. Это указывало на отсутствие в синтезированном пирите значительного количества крупного золота.

В отделенной легкой фракции пирита при просмотре под микроскопом при увеличении свыше 1000 раз удавалось конста-

тировать лишь редкие единичные мелкие включения золота, размером 1—2 μ.

Результаты прецизионного гравитационного обогащения и вторичной минераграфический анализ позволил сделать заключение, что основная масса золота в синтезированном пирите представлена весьма дисперсными и может быть субмикроскопическими включениями, не выявляемыми обычными приемами исследования. Тонкая диспергация золота в пирите была подтверждена двумя способами — химическим и специальным минераграфическим.

При химическом исследовании 25 навески Ру I были подвергнуты параллельному растворению в горячей азотной (1 1) и крепкой серной кислотах; остатки были тщательно отмыты от кислот и солей декантацией и высушены. Выделившаяся при разложении пирита сера была растворена в сероуглероде. Остаток представлял собою тонкий коричневый порошок. При просмотре под микроскопом он имел типичный вид дисперсного золота.

Подтверждение наличия дисперсного золота и его тесной связи с пиритом было получено опытами по извлечению золота амальгамацией и цианированием после измельчения материала до 325 меш (—43 μ). Опыты проводились как с исходным пиритом, так и обожженным намертво. Условия цианирования были следующие: крепость растворов цианистого калия — 0,2%; на 100 г навески пирита бралось 250 мл такого раствора, в раствор добавлялось 0,5 CaO и 0,25 г BaO_2. Время перемешивания — 24 часа, время контакта 48 часов. Растворы и реагенты заменялись свежими через сутки, два раза.

Результаты первой серии опытов извлечения золота цианированием приведены в таблице 3.

Таблица 3

Результаты цианирования двух проб синтетического золотосодержащего пирита

	Исходный пирит Извлечение золота в раствор в %	Обожженный пирит Извлечение золота в раствор в %
Пирит (*Au* — 312 г/т)	16,0	74,5
	12,0	70,0
Пирит II. (*Au* 102 г/т)	9,0	32,0
	7,5	32,0

Эти результаты указывают на тесную связь пирита и золота, практически не извлекаемого таким активным растворителем, как цианид калия.

После обжига частицы золота в богатой пробе пирита вскрываются, более тонкая диспергация золота во второй пробе затрудняет его извлечение даже после обжига.

Для большей надежности выводов о тонком распылении золота в синтезированном пирите I были поставлены повторные опыты извлечения из него золота амальгамацией и цианированием после дополнительного истирания небольших порций материала в агатовой ступке. Ограниченное количество синтезированного материала вынудило эти опыты провести в небольшом объеме — с навесками пирита по 5 г. Предварительная перед цианированием амальгамация дала крайне ничтожное извлечение золота, определяемое лишь следами. Опыты цианирования дали результаты, близкие к первой серии. Цианирование пирита на этот раз проводилось более крепкими растворами — 0,4%, при отношении твердого к жидкому 1 10 и 0,02 г CaO на 5 г выщелачиваемой навески. Извлечение золота шло непрерывно в течение 7 суток; 48 часов при перемешивании и 144 часа при спокойном контакте раствора с навеской. Ежесуточно растворы заменялись свежими с добавкой новой порции щелочи и через сутки по 0,02 г Na_2O_2. Результаты второй серии опытов сведены в таблице 4.

Таблица 4

Результаты цианирования 5 г проб PyI

№ опыта	Осаждено золота из цианистых растворов в мг	Извлечено золота %
1	0,42	26,8
2	0,44	28,2
3	0,46	29,5
4	0,44	28,2
5	0,42	26,8

Приведенные результаты показывают, что более тонкое измельчение и интенсивное цианирование несколько повышает извлечение золота, основная масса которого все-таки и при этих условиях остается недоступной цианиду, так как не вскрывается измельчением. Минераграфическая констатация дисперсного золота была проведена методом предварительной подготовки материала с помощью нагрева. В 1930 г. в Германии Харборт, Бюрг и Гофман использовали явление укрупнения дисперсных и субмикроскопических частиц золота для их констатации в сульфидах.

По опытам Бюрга в зависимости от времени и температуры нагрева объекта (200—800° С) происходит более или менее интенсивное стягивание субмикроскопических частиц золота в более крупные агрегаты, легко обнаруживаемые под микроскопом. Бюрг высказал предложение «о расшатывании при нагреве кристаллической решетки, в особенности в случае перехода его в пирротин, и диффузии частиц золота, ранее находив-

шихся в решетке пирита, на поверхность кристаллов последнего». Приводимые им микрофотографии шлифов до и после нагрева весьма убедительно подтверждают целесообразность термической обработки материала для выявления дисперсного и субмикроскопического золота в пирите.

Зернистый характер полученного нами синтетического пирита не позволил в точности воспроизвести опыты Бюрга — минераграфическое исследование поверхности шлифа до и после нагрева, так как цементирующий зерна пирита бакелит начинал разрушаться

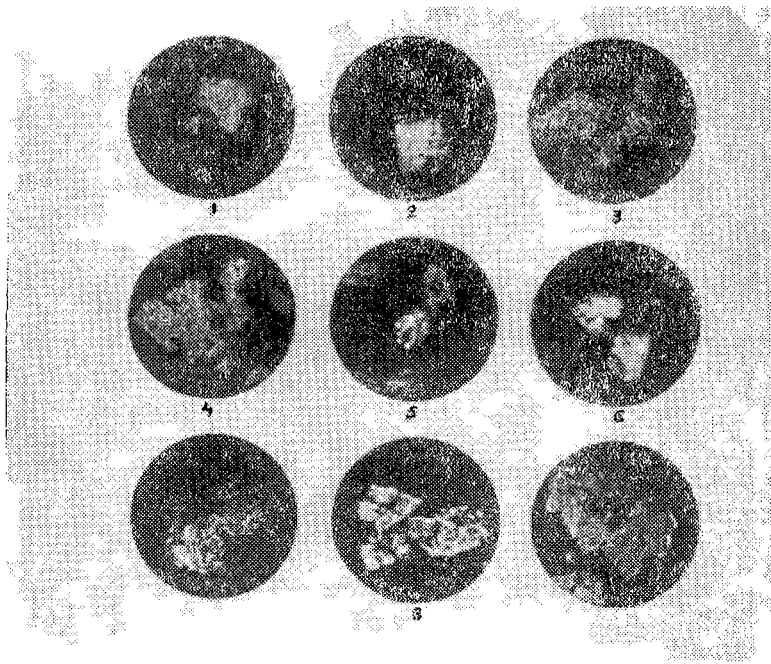


Рис. 5.

при нагреве свыше 200° С и пирит выкрашивался из заготовки. Поэтому после отделения возможных крупных включений золота в коническом пульсаторе и растворения свободных мелких зерен путем цианирования — из зернистого материала отбирались небольшие количества (~ 2 г), которые после термической обработки монтировались в бакелите и подвергались машинной полировке. Нагрев материала проводился в запаянных стеклянных трубках после эвакуирования из них воздуха с помощью двухступенчатого вакуумнасоса. Нагрев производился в трубчатой электрической печи при температуре 600° С, конец трубки выходил из печи наружу, что обеспечивало конденсацию паров серы, получающейся при реакции. Изготовленные из нагретого таким

путем материала шлифы просматривались под микроскоп при увеличении ×1350.

Просмотр показал, что пирит в некоторых случаях нацело перешел в пирротин, а в некоторых шлифах пирротина было констатировано очень мало — он образовался лишь в виде каемок на зернах пирита. Количество констатированных выделений золота в шлифах из нагретого материала по сравнению с исходным было значительно больше. В среднем, в каждом шлифе было найдено от 20 до 70 золотинок, т. е. число, приближающееся к расчетному (в соответствии с содержанием).

Таким образом, можно уверенно констатировать, что нагрев пирита способствует выявлению субмикроскопического золота.

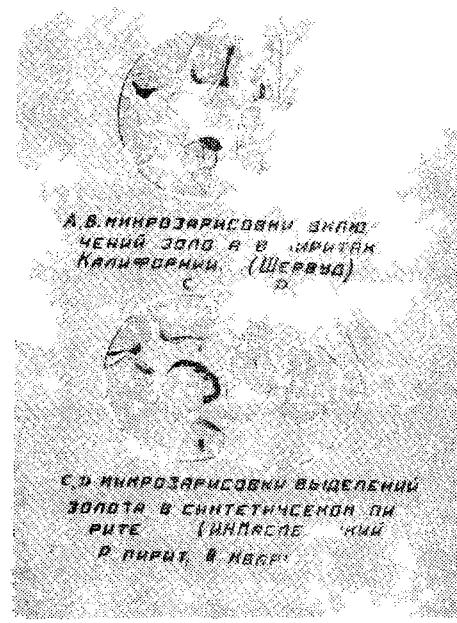


Рис. 6.

Выделения золота в пирите после термической обработки чаще всего имеют форму каемок по периферии зерен пирита. Каплевидные включения золота наблюдаются преимущественно в остатках зерен пирита, иногда в значительной части перешедшего в пирротин. Микрофотографии (ф. 5) дают иллюстрации последовательных этапов вычисления субмикроскопического золота, вначале в виде мелких точек внутри пирита (рис. 1, 2, 3, 4), затем последовательно укрупняющихся включений (рис. 6), наконец, выступивших на поверхности кристаллов пирита пленок (рис. 8 и 9).

Нам кажется, что аналогичные процессы выделения золота на кристаллах пирита могут иметь место и в природных условиях.

При формировании некоторых месторождений при температуре 400° С и повышенном давлении паров серы могли образоваться расплавы-растворы сульфидов железа, содержащие сульфиды других металлов, в том числе и золота. При понижении температуры и давления из таких расплавов происходит кристаллизация и выделение пирита. В процессе кристаллизации пирита золото, как элемент с решеткой иного размера, может или отлагаться на поверхности его кристаллов или задерживаться внутри зерен пирита в форме дисперсных включений. Констатированная

нами форма выделений золота на поверхности кристаллов пирита напоминает случаи выделений золота в пиритах некоторых месторождений. Например, в месторождении Острый Бугор (Нагольный кряж), относимом Я. Самойловым и Морозевичем к магматическому типу, были констатированы выделения «гроздьев золота» на гранях пирита и обволакивания кристаллов пирита золотом.

Не исключена возможность, что и констатированные нами в некоторых пиритах Лено-Витимского района первой генерации дисперсные включения золота также образовались при кристаллизации пирита из расплавов, что соответствует генетической гипотезе для этого района, данной акад. Обручевым.

Наконец, заслуживает внимания близкое сходство выделений золота в пиритах Калифорнии, констатированное Шервудом [11], с выделениями золота в синтезированном нами пирите (ф. 6). Характер выделений золота на поверхности кристаллов пирита, по мнению Линдгрена, свидетельствует о выделении золота из растворов на ранее образовавшемся сульфиде. Нам кажется, что нахождение выделений золота на поверхности кристаллов пирита не всегда является признаком более позднего выделения золота из растворов.

Можно считать, что проведенные опыты синтеза «высокотемпературного» пирита и его изучение химическим и минераграфическим методом с достаточной убедительностью подтвердили возможность существования в таком пирите субмикроскопических выделений золота.

Резюмируя результаты изложенной выше экспериментальной работы, можно притти к следующим выводам.

ВЫВОДЫ

1. Опыты синтеза сульфида золота и золотосодержащих сульфидов железа показали, что образующиеся при температурах 400° С пирит и пирротин способны включать в себе измеримые количества тонкодисперсного золота, не обнаруживаемого под микроскопом даже при самых больших увеличениях.

2. Субмикроскопическое золото в некоторых случаях может быть представлено сульфидом, растворенным в сульфидах железа. Такое тонкодисперсное золото в некоторых случаях может являться продуктом разложения первичного сульфида золота, растворенного в сульфиде железа. Содержание такого золота в пирите и пирротине определяется условиями их образования и последующего охлаждения.

3. Форма выделившегося из пирита золота в наших опытах соответствует формам природного золота в пиритах некоторых месторождений.

ЛИТЕРАТУРА

1. Акад. А. Н. Заварицкий. Материалы для изучения золотоносных районов Урала. Геол. пом. матер. общей и прикладн. минералогии. Вып. 16, 1926.

2. В. Я. Мостович. Флотация золотосодержащих медно-цинковых и медных руд Урала. 1931.

3. И. Н. Масленицкий. Золото в медных сульфидных рудах Урала. Цветные металлы, № 8, стр. 37—46, 1940.

И. Н. Масленицкий. Предварительные данные о крупности золота и ассоциации его с минералами в пробе полиметаллической руды Сокольного месторождения. Бюллетень Института Механобр, № 6—7, 1939.

4. И. Н. Плаксин. Юбилейный сборник трудов Моск. ин-та цв. мет. и золота, вып. 9, 1940.

5. А. А. Иванов. О времени выделения золота из растворов. Вопросы геохимии и петрографии. Академия Наук СССР, 1946, стр. 366—372.

6. О. Е. Звягинцев. Геохимия золота.

7. J. chem. soc. 69.1269 (1896).

8. L. f. kryst., 1890. 486.

9. И. Н. Масленицкий. Методы исследования тонковкрапленного золота в пиритах (к № 17). Труды Института Механобр, вып. I, 1941. стр. 1—46.

10. И. Н. Масленицкий. О новой методике исследования золота руд. Золотая промышленность, № 4—5, 1939, стр. 33. Тонковкрапленное и рассеянное золото в сульфидных рудах. Золотая промышленность, № 12, 1939, стр. 40.

11. В. Линдгрен. Месторождение золота и платины. 1932 г.