

ФОРМЫ ВХОЖДЕНИЯ ЗОЛОТА В ПИРИТ

Рождествина В.И., Неронский Г.И., Бородавкин С.И., Федорова Н.В.

Институт геологии и природопользования ДВО РАН, Благовещенск
veronika@ascnet.ru

Пирит – наиболее распространенный сульфидный минерал золоторудных месторождений. Несмотря на то, что золотосодержащий пирит более ста лет является объектом пристального внимания исследователей и признан природным концентратором золота, механизмы накопления и формы нахождения золота в нем до настоящего времени не вполне ясны.

На основании проведенных исследований форм вхождения золота в пирит мы полагаем, что изоморфное вхождение золота непосредственно в решетку пирита не возможно. И в первую очередь причиной этому являются кристаллохимические особенности его строения.

Пирит FeS_2 относится к кубической сингонии; пространственная группа: T_h^6 (Pa3); $a=5.417 \text{ \AA}$. Каждый атом Fe окружен шестью атомами серы, расположенными в вершинах октаэдра. Каждый атом S находится в тетраэдрической координации с одним соседним атомом S и тремя соседними атомами Fe. Следующие за ближайшими шесть атомов S располагаются на расстоянии 3.66 \AA . По сравнению с другими сульфидами структура пирита характеризуется очень плотной упаковкой. Межядерное расстояние в ней составляют S–S 2.14 \AA , S–Fe 2.26 \AA . Размер межядерного расстояния (2.26 \AA) значительно меньше суммы соответствующих ионных радиусов (2.60 \AA). Разница в атомных радиусах Au(Ag) и Fe составляет 14.29 %, а учитывая плотность упаковки атомов в структуре пирита – межядерное расстояние S–Fe 2.26 \AA , что меньше на 15.04 % суммы соответствующих ионных радиусов, вхождение атомов золота в структуру пирита мало вероятно. Таким образом, особенности кристаллической структуры пирита не предполагают возможность изоморфного вхождения атомов золота. Следовательно, золото в пирите может располагаться только в структурно не плотных, дефектных зонах, образуя кластерные скопления, наноразмерные металлические фазы.

Определение температурных условий рудообразования проводилось методом вакуумной декрепитации пиритов из продуктивной стадии золоторудных и золотосодержащих месторождений Дальнего Востока. Газовыделение из пиритов различных объектов начинается во всех случаях при низких температурах ($40\text{--}60^\circ\text{C}$), а из пиритов Куранахского месторождения даже при 20°C . Кривые газовыделения из пиритов в большинстве случаев имеют одномодальную форму и лишь для

месторождений Куранах и Многовершинное четко выделяются два температурных максимума. Для месторождений Березитовое, Колчеданный Утес, Звездочка отмечаются незначительные по интенсивности осложняющие максимумы, которые указывают на кристаллизацию пиритов в одну или две стадии, отличающиеся друг от друга по температуре. Интенсивность газовыделения из одинаковых навесок пирита, судя по графикам, для всех изученных объектов близка, что позволяет предполагать и близкую газонасыщенность флюида. Максимумы газовыделения для каждого объекта характеризуются индивидуальными значениями температур. Наиболее низкие значения температур декрепитации пиритов (100–240°C) присущи большей части близповерхностных золоторудных месторождений (Куранах, Многовершинное, Колчеданный утес). Исключением является лишь Хаканджинское месторождение, где низкотемпературный максимум не выявлен. Для золотосульфидных месторождений средних глубин (Березитовое, Кировское) температура декрепитации пирита более высокая (310–340°C), со слабо проявленными перегибами графиков в области низких температур. Близкие температуры декрепитации пиритов установлены в Каменушинском колчеданном месторождении и зоне скарнирования Орел. На близповерхностных месторождениях высокотемпературный интервал декрепитации проявлен слабо, кроме Хаканджинского и Многовершинного месторождений, где максимум соответствует 350–395° С.

Характеристическая температура Дебая, отражающая величину сил сцепления и особенности характера химической связи, для пирита равна приблизительно 380–390°C, что соответствует высокотемпературным максимумам декрепитации пиритов. При более высоких значениях температур, за счет увеличения амплитуды колебаний атомов решетки, в структуру минерала могут легко входить примеси других элементов, образуя твердые растворы. С понижением температуры ниже характеристической температуры Дебая, когда потенциал межатомного взаимодействия существенно больше тепловой энергии, в минералах начинаются процессы структурной трансформации, приводящие к перекристаллизации и отеснению растворенной примеси, а также ранее выделившихся микрофаз в межструктурные зоны. В процессе структурной трансформации в структурно неплотные области вытесняется и растворенная газовая составляющая, формируя вакуоли. Температурный режим процессов метаморфизма нередко превышает значения характеристических температур Дебая породообразующих и рудных минералов, что и приводит к перераспределению вещества с выделением новых минеральных ассоциаций. А так как золото является рассеянным элементом, то такие структурные трансформации минералов вызывают появление индивидов самородного золота субмикронного и наноразмерного уровня.

В результате электронно-микроскопических и рентгеноспектральных исследований установлено, что для большинства зерен пирита из различных месторождений характерно выделение золота на поверхности, в кавернах, в которых нередко ассоциирует и с другими минералами (рис.1).

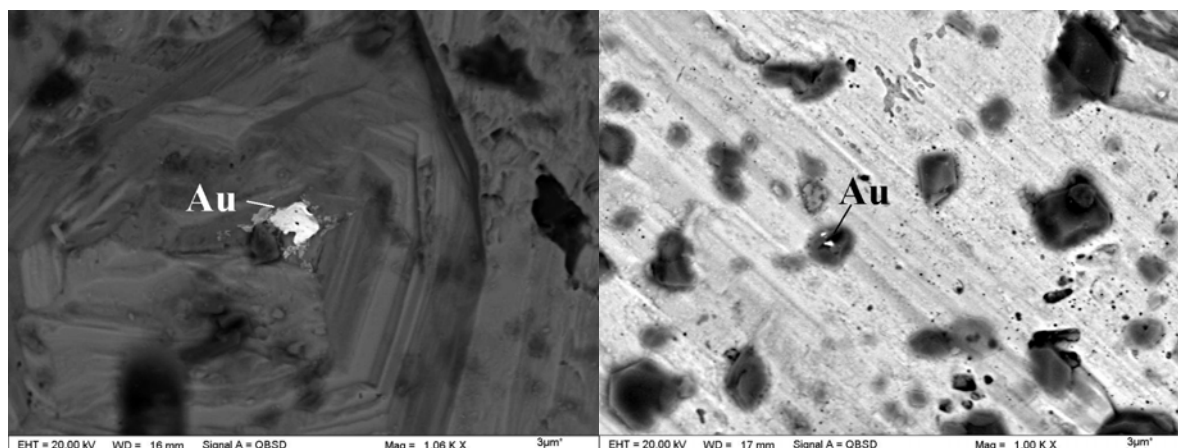


Рис. 1. Формы выделения золота на поверхности пирита

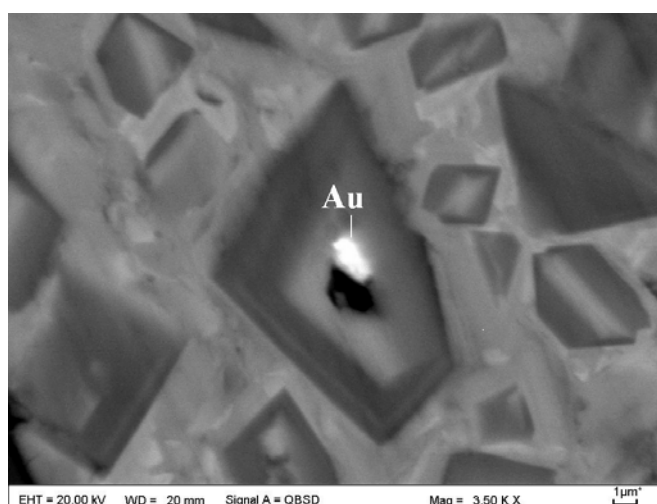


Рис. 2. Кристаллизация пирита в закрытых системах с консервацией частиц золота

Иногда при кристаллизации возникают особые условия, которые приводят к появлению скелетных форм, «футлярных» кристаллов (рис.2). Одним из механизмов образования таких футлярных кристаллов пирита, которые могут иметь внутренние полости и локализацию фаз самородного золота, является тангенциальный рост этих кристаллитов, то есть грани растут не столько перпендикулярно к их поверхности, сколько вдоль нее, и, таким образом, формируется пустотелый «футляр». На наш взгляд основной причиной кристаллизации пирита в виде «футлярных» кристаллов является механизм кристаллизации, осуществляющийся в локальных областях, как закрытых системах. Формируются локальные зоны, кристаллизация и твердение в которых осуществляются по механизмам отличным от механизмов кристаллизации основной массы

минералов. Нередко процесс кристаллизации основной массы минералов вызывает консервацию вещества локального объема. Кристалл в этом случае растет не от малого к большому, то есть не от зародыша до кристаллического многогранника, а от границ в глубь кристалла, оттесняя элементы примеси, которые консервируются кристаллом, формируя внутренние включения иной фазы, а при избытке газовой составляющей, внутренние полости. Нередко вследствие особенностей состава, а также низких температур твердения, структура вещества в таких зонах имеет колломорфные формы с выраженным глобулярным строением.

Таким образом, при нормальных условиях золото и пирит образуют устойчивые парагенетические ассоциации, а субмикроскопические и наноразмерные частицы золота распределяются в структурно неплотных зонах кристаллов пирита.

Работа выполнена при финансовой поддержке проектов 06-III-A-08-339 и 06-III-B-02-057 Президиумом ДВО РАН и в рамках выполнения программы 06-I-ОНЗ-114, подержанной Отделением наук о Земле.