

МОРФОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ НАНОРАЗМЕРНОГО ЗОЛОТА В СУЛЬФИДАХ ЧЕРНОСЛАНЦЕВЫХ ТОЛЩ

*Авторский коллектив: Москвитин С.Г., Москвитина Л.В. – отдел № 20
Институт физико-технических проблем Севера им. В.П. Ларионова СО РАН, г. Якутск*

Актуальность: Исследованное месторождение в Северном Верхоянье (Якутия) является одним из крупных золоторудных месторождений России относится к золотосульфидному типу в углеродистых сланцах. Для вскрытия наноразмерного золота впервые применено комплексное химическое и ионно-плазменное травление сульфидной матрицы в среде кислорода и аргона, что обеспечило селективное вытравливание сульфидной матрицы. Проведено исследование методами сканирующей туннельной, атомно-силовой микроскопии морфологии и локализации нанозолота в сульфидах. Установлено, что включения наноразмерного золота распределены во всем объеме вмещающих сульфидов в самородном виде. Установлено, что деформационные процессы в сульфидах способствовали укрупнению золотин. Показано, что в арсенопиритах ранней стадии золото находится в виде наноразмерных эмульсионных включений.

Ключевые слова: сульфиды, нанозолото, дислокации, блочность, химическое травление, ионно-плазменное травление, сканирующая туннельная микроскопия, рентгеноспектральный анализ.

Основные результаты работы, разработки и предложения:

Целью работы является исследование формы нахождения и морфологии золота в сульфидах путем послойного препарирования вмещающих сульфидов химическим и ионно-плазменным травлением с последующим исследованием методами сканирующей туннельной, атомно-силовой микроскопии и рентгеноспектральным анализом.

Для исследования отбирались золотоносные зерна пирита и арсенопирита, из которых были изготовлены полированные шлифы с матрицей из эпоксидной смолы. Размер зерен составляет менее 0,25 мм. Для вскрытия включений золота сульфиды в шлифах подвергались двухступенчатому травлению: 1 – травление пиритов в 30% соляной кислоте -8 часов, арсенопириты в «царской водке» 4 часа в «царской водке»; 2 - ионно-плазменное травление (ИПТ) на установке Этна 100 ПТ. Технические условия травления: источник плазмы индуктивный-250 Вт., ускоряющее напряжение - $U_c = 200$ В., плазма: O + Ar 60:60 см³/мин, вакуум – 0,002 мбар, время травления 3 минуты. Всего исследовано около 100 зерен, золотосодержащих минералов из проб, отобранных с разных горизонтов.

Обработанные химическим и ионно-плазменным травлением образцы исследовались на туннельном микроскопе NT-MDT Integra Spectra 2011. Условия съемок: длина волны 532 нм. Рассматриваемый диапазон 150-2500 см⁻¹. Для исследования структур препарированных сульфидов применен атомно-силовой метод, применяемого микроскопа. Размеры включений измерялись по 2D – изображениям, формы включений и структурные постройки минералов исследовались по 3D-изображениям. Для определения фазового состава применялась рамановская спектроскопия. Данные СТМ обработаны по программе «Nova». Химический состав фаз исследовался микрорентгеновским анализом на микроанализаторе «JEOL JSM-6480 LV Scanning Electron Microscope».

В пиритах после травления сульфидной матрицы при наблюдении в туннельном микроскопе наблюдаются единичные включения золота. Внутренняя структура пирита идентична параллельной штриховке на гранях кристалла. (рис.1 а). Также грани пирита имеют мелкую блочную структуру. Включения золота выявлены в порах образующихся в пересечениях. Размер включения золота в зерне пирита № 25 составляет 15x25x30 нм. В изученных шлифах различаются 3 морфологические разновидности арсенопирита: 1 - вблизи стержневых кварцевых жил зернистый арсенопирит состоит из мельчайших разориентированных блоков; 2- ромбический со слабовыраженной блочностью и 3-призматический. Арсенопириты 2 и 3 морфологического типа отобраны из глинистых сланцев. Так называемый «зернистый» арсенопирит это передробленные и распавшиеся на отдельные блоки скопления кристаллов, первоначальные морфологии трудно восстановить (Рис.3а). При исследовании арсенопирита 1 в атомно-силовом режиме по границам блоков фиксируются включения золота. Разориентировка блоков наблюдается на всех структурных уровнях. Размеры трех измеренных включений золота: 1- 24x58x42; 2 - 20x58x60; 3 - 27x38x25 нм. Наноразмерные золотины размещаются преимущественно по краям крупных блоков. Поверхность золотин чистая без пленок. (Рис.2 а,б).

На рисунке 2б видно, что золотины повторяют формы пор и трещин сульфидной матрицы. По всей вероятности, укрупнение золотин произошло путем переноса дисперсных капель золота дислокациями. В ранних призматических арсенопиритах золото рассеяно в виде мелких эмульсий. При отсутствии или низкой блочности золото не укрупняется. Размеры включений благородных металлов (БМ) варьируют от 5 до 70 нм. Крупные включения округлой формы, наблюдаются также уплощенные формы. В результате проведенных экспериментальных работ показано, что при химическом травлении и последующей РИПТ ионами кислорода и молекулами аргона кристаллы пирита и арсенопирита послойно вытравливаются. Это показывает распределение золота во всем объеме зерен. Наблюдаемые включения золота приурочены к трещинам и порам блочной структуры сульфидных кристаллов.

Блочность кристаллов наблюдается на разных структурных уровнях. Известно, что блочность разного уровня масштабов возникает в условиях роста кристаллов и относится к автодеформации. Под действием внешних напряжений в кристаллах возникают различные ротационные процессы: разворот блоков, фрагментация.

Известно, что уменьшение размера частиц до наноуровня может определить фазовую неустойчивость из-за увеличения поверхностной энергии. В нашем случае, видимо, гидротермальный нагрев околорудной зоны одновременно сопровождался деформационным процессом. В интервале высоких температур (в данном эксперименте от 300 до 450°C) все термически активируемые процессы связаны с тепловыми вакансиями в основной кристаллической решетке. Примененный метод анализа в данной работе может быть использован для выделения типов руд и корректировке обогащения месторождений подобного типа.

Выводы:

1. В арсенопиритах и пиритах нанозолото находится в самородном виде и локализуется в порах по границам блочной структуры.
2. С интенсивностью деформационных процессов связано укрупнение включений золота. Предполагается, что перенос золота осуществляется термическими вакансиями.
3. Послойное препарирование сульфидов показало распределение золота во всем объеме зерна.
4. В раннем игольчатом арсенопирите золото находится в виде мелких эмульсий.

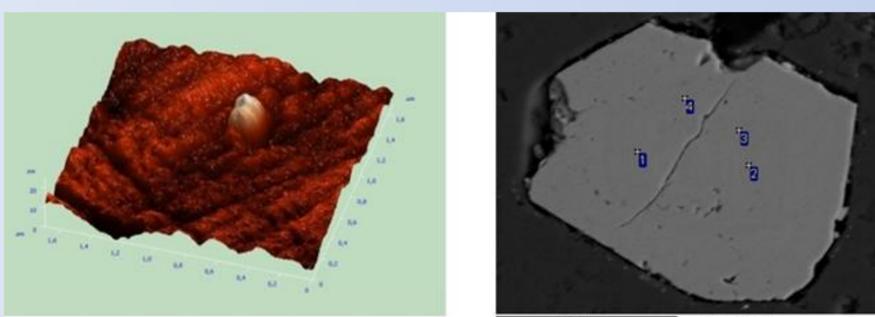


Рисунок 1. Включение золота в зерне пирита № 25: а - атомно силовая микроскопия; б - сканирующая растровая микроскопия

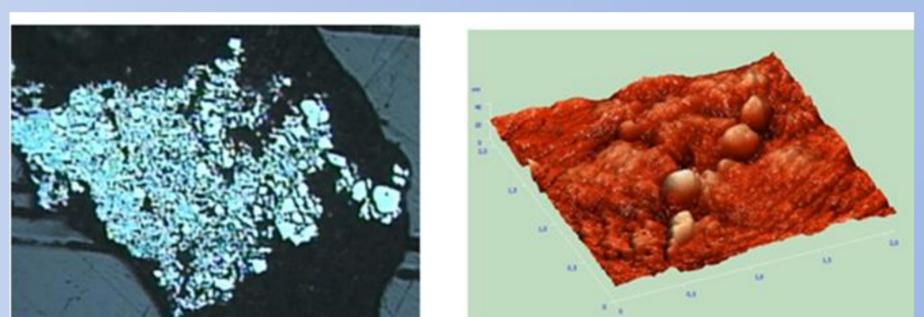


Рисунок 2. Блочный арсенопирит: а – сканирующая туннельная микроскопия; б – атомно- силовой режим