

## ТИПОМОРФИЗМ ПОВЕРХНОСТИ МИНЕРАЛОВ

Таусон В.Л.

Институт геохимии СО РАН, г. Иркутск

*vltauson@igc.irk.ru*

Работа выполнена при поддержке РФФИ (№ проекта 02-05-64297)

**Вестник Отделения наук о Земле РАН, № 1(20) 2002**

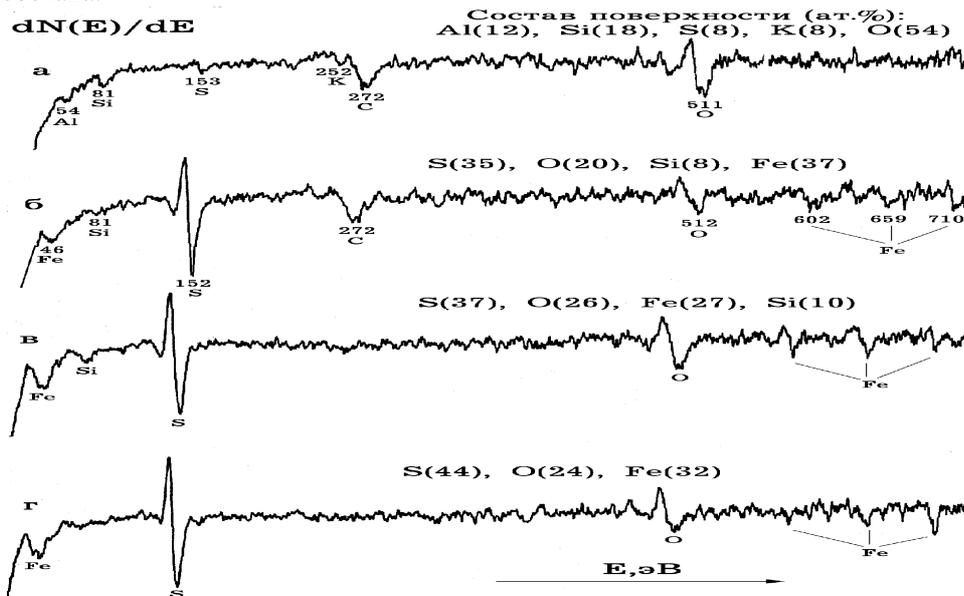
URL: [http://www.scgis.ru/russian/cp1251/h\\_dgggms/1-2002/informbul-1.htm#term-15](http://www.scgis.ru/russian/cp1251/h_dgggms/1-2002/informbul-1.htm#term-15)

В последнее время в мире все более широко проводятся исследования по различным аспектам химии и физики поверхности минералов, но вопрос о том, какую генетическую информацию могут нести подобные исследования, пока остается за кадром. Причина очевидна: поверхность очень чутко реагирует на любые изменения во внешней среде и обычно не сохраняет следов более ранних воздействий. Чисто сорбционные работы, которые составляют основную часть исследований в этой области, заключаются в построении изотерм адсорбции, математическом описании процессов, их кинетики. При этом выясняется, что представления о механизме сорбции металла не могут базироваться только на математических моделях процесса его удаления из раствора, а кинетические модели нельзя использовать для предсказания характера сорбции и ее необратимости вне определенных временных рамок, ограничивающихся, по-видимому, несколькими месяцами - времен, в геологических масштабах пренебрежимо малых. Но в недавних экспериментальных работах было показано, что на химически реконструированной поверхности минералов присутствуют фазоподобные образования (тонкопленочные островковые преципитаты, квазифазы или неавтономные поверхностные фазы [1,2]), достаточно устойчивые и, по-видимому, способные сохраняться в определенных обстановках в течение геологического времени. Томография поверхности, то есть ее послойное исследование в глубину, может дать информацию о последовательности происходивших процессов, в частности, о вариациях химического состава среды, приводящих к изменению состава и распределения этих образований. Нами выполнено сравнительное исследование природных и синтетических золотосодержащих пиритов методами рентгеновской фотоэлектронной и оже-электронной спектроскопии с целью установить механизм рудоконцентрирования золота в процессах околорудного метасоматоза.

Эксперименты по синтезу пирита в присутствии Au и его элементов-спутников (As, Se) выполнены по стандартной методике гидротермального синтеза при  $T=450^{\circ}\text{C}$  и давлении 1 кбар. Экспериментальные данные позволяют оценить состав исходной поверхности, сформировавшейся непосредственно в процессе роста кристалла. Анализ дифференциальных оже-спектров показывает, что в случае присутствия в системе примеси Se поверхностный слой толщиной около 0,1 мкм содержит оксиды Fe, тогда как в системе с As в экспериментах образуются кристаллы двух типов: аналогичные предыдущим и содержащие в поверхности сульфатную серу. В последнем случае кислородные соединения сохраняются и после часа травления, а толщина оксидной пленки вполне сопоставима с таковой для природного пирита. В экспериментах с Se оксидная пленка получается более тонкой и стравливается полностью за 20 мин (бомбардировка ионами Ag с энергией 2 кэВ). Полученные результаты показывают, что поверхность гидротермального или метасоматического пирита окислена на глубину  $\sim 0,1-0,5$  мкм и исходная (ювенильная) поверхность содержит порядка 10-20 ат.% кислорода в составе оксидно-сульфидного слоя.

Природный пирит из околорудных метасоматитов эпитептермального Au-Ag месторождения "Дальнее" (северо-восток России) содержал в поверхности литофильные элементы Al, Si и K. Железо в поверхностном слое отсутствовало. Дифференциальные оже-спектры, по мере ионного травления, представлены на рис.1. Состав поверхностной пленки меняется с глубиной (рис.1а-в): уходят Al и K, сохраняется кремний, появляется характерный LMM-триплет железа, но лишь при травлении в течение часа вырисовывается картина окисленного пирита, подобная экспериментальным образцам (рис.1г). Толщина покрытия составляет примерно 0,5 мкм. Следует учитывать, что в изученной пробе наблюдались аномально высокие содержания равномерно распределенного ("невидимого") золота (до 100 г/т в наиболее мелких фракциях пиритовых кристаллов). Концентрация равномерной составляющей примеси Au четко коррелирует со средней удельной поверхностью кристалла в статистических выборках разных размерных фракций, что указывает на связь «невидимого» золота с поверхностью, т.е. на

сорбционный его характер. Мы полагаем, что концентрирование дисперсного золота на поверхности пирита из околорудного пространства произошло под воздействием щелочного рудного раствора. Осаждение Au имело место вследствие нейтрализации раствора на «кислой» поверхности минерала, содержащей  $\text{SiO}_2$  и оксиды Fe. Это причина, по которой во вмещающих породах золото осаждается на уже образовавшийся пирит, тогда как в рудных жилах золото и пирит сингенетичны [3]. Таким образом, состав поверхности позволяет обосновать важный типоморфный признак отличия пиритов рудных жил от пиритов околорудных метасоматитов. Изменение состава покрытия пиритовых кристаллов по глубине показывает, что пиритизация имела место при избытке  $\text{SiO}_2$ , но затем происходили серицитизация и адуляризация (возможно, при участии привносимого раствором калия), в результате чего, судя по атомным отношениям элементов в поверхности, образовалось покрытие среднего между адуляром и серицитом состава.



**Рис.1.** Дифференциальные оже-спектры пирита из околорудных метасоматитов эпитермального месторождения Дальнее: а – исходный пирит с очищенной поверхностью (5 мин ионного травления); в поверхности присутствуют литофильные элементы (Al, Si, K); б и в – 20 и 40 мин травления соответственно, обнажается окисленная поверхность пирита, но кремний в поверхности еще присутствует; г – 60 мин травления, окисленная поверхность пирита.

Полученные данные позволяют сделать два важных вывода. Во-первых, они подтверждают на природном материале экспериментальные сведения (пока немногочисленные) о значительной роли поверхностных преципитатов и неавтономных фаз в механизме поглощения несовместимых элементов, к которым с полным основанием можно относить и золото, практически не входящее в структуру пирита [4,5]. Во-вторых, сопоставляя природные данные с экспериментом, можно оценить состав исходной поверхности, сформировавшийся в процессе роста кристаллов. Это позволяет определить некоторую границу отсчета (ювенильную поверхность), выше которой послеростовые изменения кристалла запечатлены в составе его приповерхностных слоев. На примере пирита эпитермального Au-Ag месторождения мы видели, что так могут маркироваться метасоматические процессы.

*Автор признателен Р.Г.Кравцовой и Ю.В.Щеголькову за помощь в исследованиях.*

## Литература

1. Bostick B.C., Fendorf S., Fendorf M. // *Geochim. Cosmochim. Acta*. 2000. V.64. N2. P.247-255.
2. Таусон В.Л., Пархоменко И.Ю., Меньшиков В.И. и др. // *Геология и геофизика*. 2002. Т.43. №2. С.182-187.
3. Кравцова Р.Г., Соломонова Л.А. // *Геохимия*. 1984. №12. С.1867-1872.
4. Tauson V.L. // *Eur. J. Mineral*. 1999. V.11. N6. P.937-947.
5. Таусон В.Л., Бессарабова О.И., Кравцова Р.Г. и др. // *Геология и геофизика*. 2002. Т.43. №1. С.57-67.