

О. Е. ЗВЯГИНЦЕВ и И. А. ПАУЛЬСЕН

**О ДЕЙСТВИИ МИНЕРАЛОВ НА РАСТВОРЫ ЗОЛОТА**

(Представлено академиком А. Е. Ферсманом 8 IX 1938)

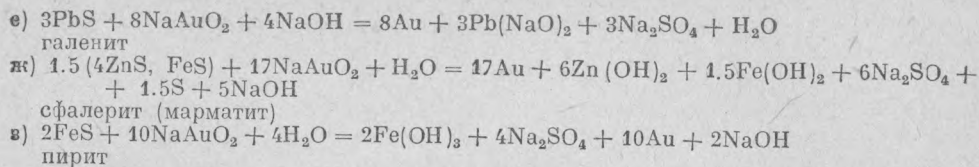
В зоне окисления сульфидных месторождений может образовываться свободная серная кислота, сернокислое железо, а в присутствии двуокиси марганца и хлористых солей возможно появление свободного хлора. Эти вещества, особенно хлор, могут действовать растворяющим образом на самородное золото. Образующиеся в зоне окисления кислые золотые растворы будут опускаться в нижележащие слои, где они встретят неокислившиеся сульфидные минералы. Здесь, в зоне цементации, наступят реакции осаждения золота сульфидами. Что такие реакции наступают, вряд ли подвержено сомнениям. Однако уравнения реакций взаимодействия сульфидных минералов с растворами хлорного золота не подвергались еще выяснению.

Нами были изучены реакции взаимодействия растворов хлорного золота с галенитом, сфалеритом, халькопиритом, пиритом, арсенопиритом. Были проведены опыты с растворами золота определенной концентрации и с минералами, состав которых был известен. Продукты реакций были тщательно проанализированы. Количественные отношения элементов в исходных продуктах и в продуктах реакций позволяли написать следующие уравнения:

- а)  $3\text{PbS} + 2\text{AuCl}_3 = 3\text{PbCl}_2 + 2\text{Au} + 3\text{S}$   
галенит
- б)  $9\text{FeS}_2 + 40\text{AuCl}_3 + 6\text{FeCl}_3 + 72\text{H}_2\text{O} = 8\text{FeSO}_4 + 7\text{FeCl}_2 + 10\text{H}_2\text{SO}_4 + 40\text{Au} + 42\text{HCl}$   
пирит
- в)  $3\text{FeCuS}_2 + 7\text{AuCl}_3 + 6\text{H}_2\text{O} = 7\text{Au} + 3\text{FeCl}_2 + 3\text{CuCl}_2 + 1.5\text{H}_2\text{SO}_4 + 4.5\text{S} + 9\text{HCl}$   
халькопирит
- г)  $7(4\text{ZnS}, \text{FeS}) + 20\text{AuCl}_3 + 10\text{HCl} + 26\text{H}_2\text{O} = 24.5\text{H}_2\text{S} + 6.5\text{H}_2\text{SO}_4 + 20\text{Au} + 28\text{ZnCl}_2 + 7\text{FeCl}_2 + 4\text{S}$   
сфалерит (марматит)
- д)  $5\text{FeAsS} + 2.5\text{Fe}_2\text{O}_3 + 20\text{AuCl}_3 + 32.5\text{H}_2\text{O} = 4\text{FeSO}_4 + 6\text{FeCl}_2 + 20\text{Au} + 5\text{H}_2\text{AsO}_4 + \text{H}_2\text{SO} + 48\text{HCl}$   
арсенопирит

Интересно отметить, что при этих реакциях железо всегда восстанавливалось до двухвалентного. Также нужно констатировать наличие элементарной серы в продуктах реакций с галенитом, халькопиритом и арсенопиритом и свободной серной кислоты во всех реакциях кроме галенита.

Помимо реакций сульфидных минералов с раствором хлорного золота таким же путем были выведены реакции действия галенита, сфалерита и пирита на растворы аурата натрия:



Надо однако сейчас же заметить, что реакции а), б), в), г) и д) весьма вероятны в природных условиях в зоне цементации. Реакции же е), ж) и з) очень мало вероятны, ибо раствор  $\text{NaAuO}_2$  является малоустойчивым в условиях термальных вод. По нашим опытным данным раствор  $\text{NaAuO}_2$  (0.8 г золота на 100 г раствора) уже при  $150^\circ$  в автоклаве в течение двух часов выделил более половины золота.

Как было уже ранее показано (1), реакции осаждения золота разными сульфидными минералами идут с различной скоростью: галенит и сфалерит действуют весьма медленно; сульфиды, содержащие железо, пирит, халькопирит и арсенопирит,—быстро. Нами изучены скорости осаждения золота сульфидами при различных температурах, различной поверхности сульфидов и при различной концентрации хлорного золота в растворе. Увеличение температуры от комнатной до  $65^\circ$  и до  $95^\circ$  значительно увеличивает скорость осаждения золота сульфидами. В таком же направлении действует и увеличение поверхности сульфида.

Качество осадков, выделяющихся из раствора хлорного золота на сульфидах, различно: галенит покрывается плотной пленкой золота; пирит и арсенопирит покрываются рыхлым слоем мелкого, почти коллоидного золота.

Таким характером осаждения объясняется большая склонность золота ассоциироваться с пиритом и арсенопиритом, чем со сфалеритом и галенитом.

Однако на растворах коллоидного золота наблюдается совсем иной порядок действия минералов. В прилагаемой таблице указан характер

Минерал	Навеска минерала, грамм	Результат действия минерала на 50 мл красного коллоидного раствора золота (0.673 мг на мл)
Пирит . . . . .	1	Мгновенное посинение; при взбалтывании через несколько минут все золото осело
Галенит . . . . .	1	Быстрое посинение; через сутки все золото осело
Халькопирит . . . . .	1	Раствор посинел; после кипячения и стояния в течение 2 суток все золото осело
Сфалерит . . . . .	1	Раствор посинел; оттенок раствора фиолетовый; через сутки все золото осело
Арсенопирит . . . . .	1	Раствор сразу приобрел фиолетовый цвет; при кипячении не изменился
Кальцит . . . . .	0.5—1	При навеске минерала 0.5 г цвет стал чуть заметно фиолетовым; при прибавлении минерала до 1 г и при кипячении все золото осело. Осадок розовый
Барит . . . . .	0.5—1	То же, что и с кальцитом. Осадок сине-фиолетовый
Кварц . . . . .	1	После кипячения и стояния в течение 2 суток раствор розово-фиолетовый. Через три суток часть золота осела

действия минералов на красный коллоидный раствор золота. Для опытов бралось 50 мл красного коллоидного раствора (0.673 мг на мл) и от 0.5 до 5 г минерала, измельченного до 150 меш. Если заметного изменения цвета раствора не наблюдалось, то раствор с минералом подвергался кипячению (для контроля всегда велся слепой опыт).

Ни один из изученных минералов, в том числе кальцит, барит и кварц, не оказались безразличными по отношению к коллоидному раствору золота. Наиболее интенсивно осаждает золото пирит; за ним следуют сульфидные минералы: галенит, халькопирит, сфалерит и арсенопирит.

Термальные растворы, восходившие по жилам и несшие золото, попадали в условия, когда золото из них выпадало в мелкодисперсной форме<sup>(2)</sup>; омывая сульфидные минералы, оно осаждалось в первую очередь пиритом, затем галенитом и другими сульфидами и наконец на других минералах.

Институт «Нигризолото».  
Москва.

Поступило  
14 IX 1938.

#### ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- <sup>1</sup> О. Е. Звягинцев и Э. Л. Писаржевская, ДАН, XVIII, № 7 (1938).  
<sup>2</sup> С. Frondel, Econ. Geol., **33**, 1—20 (1938).