

О. Е. ЗВЯГИНЦЕВ и И. А. ПАУЛЬСЕН

О РАСТВОРИМОСТИ ЗОЛОТА В ГИДРОСУЛЬФИДАХ ЩЕЛОЧЕЙ

Из природных факторов, играющих роль в генезисе и отложении золота, растворимость является одним из наиболее важных. Этот фактор мы имеем возможность изучать в лаборатории, воспроизводя с некоторым приближением процесс растворения и отложения золота так, как он происходит в природе. Полученные при изучении характера золото-содержащих растворов данные могут помочь при разрешении основных проблем, касающихся растворения, переноса и отложения металлического золота в природе.

Относительно форм переноса золота в природе имеется много предположений. Наиболее вероятным нам кажется положение, по которому золото переносится в виде хлорида, потому что хлорид золота наиболее устойчив по сравнению с другими соединениями золота.

Вопросу растворения золота посвящен целый ряд работ, по вопросу же его выделения из раствора работ очень мало.

В предыдущей нашей работе (1) нами были изучены процессы осаждения золота из растворов хлорида золота, а также из растворов аурата натрия (NaAuO_2) при взаимодействии этих растворов с сульфидными минералами. Менее вероятно предположение относительно переноса золота в природе в виде коллоида вместе с растворами коллоидного кремнезема (4). Безусловно, коллоидные растворы золота образуются очень легко, однако золото так же легко осаждается из этих растворов электролитами. Нами также найдено (1), что оно осаждается и многими минералами, поэтому едва ли золото в таком виде может быть перенесено в больших масштабах.

О растворимости золота в растворах гидросульфидов щелочей было известно еще со времен Глаубера (5), который нашел, что золото можно растворить путем сплавления его с серной печенью. Несмотря на это, едва ли геологами были сделаны какие-либо существенные практические выводы из этих результатов.

Скэй (2) при изучении образования золотых самородков предположил, что золото растворимо в щелочных сульфидах и в этой среде может переноситься в природе.

Иглстон (3) при изучении генезиса золотых самородков и россыпных месторождений золота нашел, что губчатое золото растворимо в щелочных сульфидах. Свои опыты он проводил в запаянных трубках при температурах $145-180^\circ$ в течение $6\frac{1}{2}$ час.; при этом у него получались зеленые растворы, которые давали реакцию на золото.

Беккер (4) при изучении ртутных месторождений Тихоокеанского побережья показал, что золотая пыль растворяется при комнатной температуре и давлении в щелочных сульфидах. Анализом было показано, что раствор содержал 1 ч. Au на 843 ч. Na_2S . Он утверждал, что некоторые золотые жилы имеют большое сходство с ртутными месторождениями

и что, так же как и последние, они образуются при осаждении золота из растворов сульфидных щелочей.

Лингер (5) повторил некоторые из этих экспериментов и тоже растворил золото, однако он не описывает подробно свои опыты.

Ливерсайдж (6), изучая происхождение золотых самородков, дает обзор предыдущих работ о растворимости золота. Он также нашел, что золото растворимо в сульфидах щелочей.

Огрызло (7), изучая растворимость золота в различных растворителях, нашел, что при обычных температурах и давлении в растворах Na_2S растворяются только следы золота (см. табл. 1).

Таблица 1

Эксперименты при высокой температуре и давлении в позолоченной бомбе с Na_2S
[Ogryzlo (7)]

№ опыта	Материалы	Время (часы)	Температура (°C)	Результаты
15	25 мл 1 N Na_2S^1	51 $\frac{1}{2}$	300	Раствор бесцветный. Не давал реакции на золото
19	25 мл 5 N Na_2S , свободный от карбонатов; чистый кварц	22	300	Раствор бесцветный. Не давал реакции на золото. Кремнезем в растворе. Позолота не была разъедена
20	25 мл 5 N Na_2S без CO_2	25	300	Раствор бесцветный. Не давал реакции на золото
23	25 мл 1 N Na_2S^1 без CO_2	58 $\frac{1}{2}$	200	Раствор бесцветный. Не давал реакции на золото. Позолота в нескольких местах разъедена
26	5 г $\text{Na}_2\text{S} \cdot \text{H}_2\text{O}$ в 25 мл H_2O	48	175	Раствор зеленоватый. Не давал реакции на золото. Позолота не разъедена
78	6 г $\text{Na}_2\text{S} \cdot \text{H}_2\text{O}$ в 25 мл H_2O	70	300	Раствор бесцветный. Следы золота в растворе. Слегка разъедена позолота
73	6 г $\text{Na}_2\text{S} \cdot \text{H}_2\text{O}$ в 25 мл H_2O	91	300	Раствор зеленоватый. Следы золота в растворе. Позолота слегка разъедена
48	6 г $\text{Na}_2\text{S} \cdot \text{H}_2\text{O}$ в 25 мл H_2O	43 $\frac{1}{2}$	300	Раствор светлозелено-коричневый. Следы золота в растворе. Позолота слегка разъедена

¹ Na_2S приготовлен пропусканием H_2S через NaOH в течение 1 $\frac{3}{4}$ часа, и затем добавлено равное количество NaOH .

Эти результаты не совпадают с утверждениями Иглстона (3), Беккера (4) и Лингера (5). Огрызло (7) показал также, что золото хорошо растворяется в NaHS при высоких температурах (200—300°) и давлении. В табл. 2 мы приводим полученные им результаты.

Нами в химической лаборатории Нигризолото были произведены эксперименты по исследованию растворимости золота в гидросульфидах щелочей в зависимости от влияния различных факторов.

Таблица 2

Эксперименты при высокой температуре и давлении в позолоченной бомбе с гидросульфидом натрия и полисульфидом натрия

[Ogryzlo (7)]

№ опыта	Материалы	Время (часы)	Температура (°C)	Результаты
85	6 г $\text{Na}_2\text{S} \cdot 9\text{H}_2\text{O}$ в 25 мл воды. H_2S пропускался $1\frac{1}{2}$ часа	$90\frac{1}{4}$	200	Раствор желтый. В растворе 0.0323 г золота. Позолота сильно разведена
70	5.8 г $\text{Na}_2\text{S} \cdot 9\text{H}_2\text{O}$ в 25 мл воды. H_2S пропускался $1\frac{1}{2}$ часа	90	300	Раствор желтый. В растворе 0.0634 г золота. Позолота сильно разведена
77	2 г $\text{Na}_2\text{S} \cdot 9\text{H}_2\text{O}$ в 25 мл воды. H_2S пропускался $1\frac{1}{2}$ часа	90	300	Раствор светлозеленый. В растворе 0.0175 г золота. Позолота сильно разведена
88	3 г NaOH в 25 мл воды. H_2S пропускался $1\frac{3}{4}$ часа	$63\frac{3}{4}$	300	Раствор зеленоватый. В растворе 0.0447 г золота. Позолота разведена
91	3 г NaOH в 25 мл воды, 2 г кремнезема. H_2S пропускался $1\frac{3}{4}$ часа	$59\frac{1}{2}$	300	Раствор светлозеленый. В растворе 0.0325 г золота. Позолота сильно разведена. Немного кремния в растворе.
82	6 г $\text{Na}_2\text{S} \cdot \text{H}_2\text{O}$, 0.2 г серы в 25 мл воды (полисульфид)	69	300	Раствор бесцветный. Следы золота в растворе
86	6 г $\text{Na}_2\text{S} \cdot 9\text{H}_2\text{O}$, 1 г NaOH , 0.4 г серы в 25 мл H_2O (полисульфид)	48	300	Раствор светлокориичневый. Следы золота в растворе. Позолота слегка разведена

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Опыты по исследованию растворимости золота в гидросульфидах щелочей производились при температурах от 15 до 95° и атмосферном давлении в стеклянных колбочках с притертыми пробками. Нагревание осуществлялось в водяной бане с электронагревателями. Колбочки периодически встряхивались специальным приспособлением, устройство которого нами было описано в предыдущей нашей работе (1).

Специально поставленные нами опыты показали, что без перемешивания растворение золота идет значительно медленнее (опыты № 1, 2 — табл. 3).

Раствор гидросульфида готовился следующим образом: от 3.5 до 2 г $\text{Na}_2\text{S} \cdot 9\text{H}_2\text{O}$ растворялись в 25 мл воды (кипяченой в течение 10 мин. для удаления воздуха, во избежание окисления NaHS до полусульфида), ¹ и затем в раствор пропускался H_2S в течение $\frac{1}{2}$ —1 часа.

Как и все соли сероводородной кислоты, Na_2S в растворе гидролизует вследствие реакции:



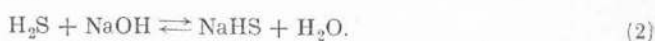
¹ Образования полусульфидов следовало избегать, так как Огрызло (7) показал, что в полусульфидах щелочей, даже при высоких температуре и давлении, растворяются только ничтожные следы золота (см. табл. 2).

Таблица 3

Влияние перемешивания во время опыта на растворимость золота в растворе NaHS

№ опыта	Материалы	Время (часы)	Температура ($^{\circ}\text{C}$)	Убыль веса золота (г)	Найдено золота в растворе (г)	Результаты
1	7 г $\text{Na}_2\text{S} \cdot 9\text{H}_2\text{O}$ в 25 мл воды. H_2S пропускался $1\frac{1}{2}$ часа (раствор прибл. 20%-ный) без перемешивания	138	89—90	0.0003	0.0003	Раствор желтый
2	7 г $\text{Na}_2\text{S} \cdot 9\text{H}_2\text{O}$ в 25 мл воды. H_2S пропускался $1\frac{1}{2}$ часа (раствор прибл. 20%-ный) с перемешиванием	138 $\frac{1}{4}$	80—90	0.0010	0.0009	Раствор зеленоватый

При пропускании сероводорода через этот раствор H_2S будет связывать NaOH , образуя новые количества гидросульфида и этим смещая равновесие реакции (1) вправо:



Нами были проведены опыты растворения золота в растворах гидросульфида, приготовленных насыщением сероводородом в течение 1 часа растворов NaOH и KOH .

Таблица 4

Влияние щелочей на растворимость золота в растворе NaHS

№ опыта	Материалы	Время (часы)	Температура ($^{\circ}\text{C}$)	Убыль веса золота (г)	Найдено золота в растворе (г)	Результаты
1	7.5 г $\text{Na}_2\text{S} \cdot 9\text{H}_2\text{O}$ в 25 мл воды. H_2S пропускался $1\frac{1}{2}$ часа (раствор прибл. 20%-ный)	138	80—90	0.0010	0.0009	Раствор зеленоватый
2	12 мл насыщенного раствора NaOH доведено водой до 25 мл. H_2S пропускался 1 час (раствор прибл. 20%-ный)	120	80	0.0002	следы	Раствор зеленый
3	12 мл насыщенного раствора KOH доведено водой до 25 мл. H_2S пропускался 1 час (раствор прибл. 20%-ный)	129 $\frac{1}{2}$	80	0.0002	0.0001	Раствор желто-бурый
4	2.5 мл насыщенного раствора KOH . H_2S пропускался 1 час (раствор прибл. 40%-ный)	128 $\frac{3}{4}$	80—90	нет	нет	Раствор светло-желтый

Из табл. 4 видно, что результаты растворения золота в NaHS , приготовленном из Na_2S и из щелочей, различны. В растворе NaHS , приготовленном из Na_2S (опыт № 1), золота растворилось больше, чем в растворе, приготовленном из щелочей, независимо от того, был ли взят едкий калий или едкий натр (опыты № 2, 3, 4).

Уменьшение растворимости в NaHS , приготовленном из щелочей, можно объяснить тем, что в сильно щелочной среде равновесие в реакции (1) смещено в сторону разрушения гидросульфид-иона.

В виду того что все предшествующие авторы изучали растворение или губчатого или порошкового золота, нами были поставлены опыты, выясняющие влияние агрегатного состояния золота на его растворимость. Сравнение результатов опытов, приведенных в табл. 5, показывает, что растворимость золота не зависит от его агрегатного состояния.

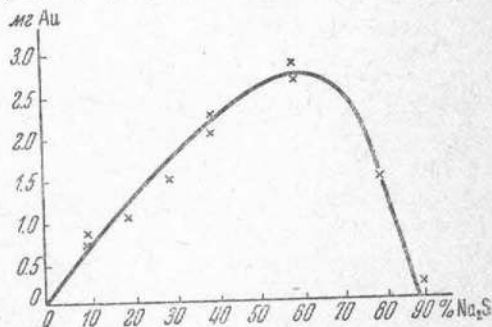
Таблица 5.

Влияние агрегатного состояния золота на его растворимость в растворе NaHS

№ опыта	Материалы	Время (часы)	Температура (°C)	Убыль веса золота (г)	Найдено золота в растворе (г)	Результаты
1	7 г $\text{Na}_2\text{S} \cdot 9\text{H}_2\text{O}$ в 25 мл воды. H_2S пропускался $\frac{1}{2}$ часа (раствор прибл. 20%-ный). Золото взято в пластинке	438	80—90	0.0010	0.0009	Раствор желтый
2	7 г $\text{Na}_2\text{S} \cdot 9\text{H}_2\text{O}$ в 25 мл воды. H_2S пропускался $\frac{1}{2}$ часа (раствор прибл. 20%-ный). Золото порошковое	130	80	0.0011	0.0008	Раствор желтый

Результаты опытов, приведенных в табл. 6 и на графике фиг. 1, показывают, что растворимость золота растет с увеличением концентрации NaHS в растворе (опыты № 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7), однако в сильно концентрированном растворе (опыты № 8 и 9) растворимость золота резко падает, благодаря чему кривая образует максимум. Уменьшение растворимости золота при большой концентрации NaHS объясняется тем, что Na_2S , как соль слабой кислоты и очень сильного основания, имеет сильно щелочную реакцию. В концентрированном растворе, повидимому, несмотря на пропускание сероводорода, в течение часа реакция (1) идет справа налево, и гидросульфид-ион не образуется, а в растворе находится, главным образом, сульфид натрия.

Согласно же данным Огрызко (7), растворимость золота в сульфиде натрия, даже при высоких температурах и давлении, очень мала (см. табл. 1).



Фиг. 1

Таблица 6

Влияние концентрации Na_2S в растворе на растворимость золота

№ опыта	Материалы	Время (часы)	Температура (°C)	Убыль веса золота (г)	Найдено золота в растворе (г)	Результаты
1	3.5 г $\text{Na}_2\text{S} \cdot 9\text{H}_2\text{O}$ в 25 мл воды. H_2S пропускался $\frac{1}{2}$ часа (раствор прибл. 40%-ный)	140	90	0.0008	0.0008	Раствор светло-зеленый
2	3.5 г K_2S в 25 мл воды. H_2S пропускался $\frac{1}{2}$ часа (раствор прибл. 40%-ный)	140	90	0.0007	0.0006	Раствор светло-зеленый
3	7 г $\text{Na}_2\text{S} \cdot 9\text{H}_2\text{O}$ в 25 мл воды. H_2S пропускался $\frac{1}{2}$ часа (раствор прибл. 20%-ный)	138	90	0.0010	0.0009	Раствор зеленый
4	10 г $\text{Na}_2\text{S} \cdot 9\text{H}_2\text{O}$ в 25 мл воды. H_2S пропускался $\frac{1}{2}$ часа (раствор прибл. 30%-ный)	138	90	0.0014	0.0012	Раствор желтый
5	15 г $\text{Na}_2\text{S} \cdot 9\text{H}_2\text{O}$ в 25 мл воды. H_2S пропускался $\frac{1}{2}$ часа (раствор прибл. 40%-ный)	138	80	0.0022	0.0020	Раствор зеленый
6	20 г $\text{Na}_2\text{S} \cdot 9\text{H}_2\text{O}$ в 25 мл воды. H_2S пропускался $\frac{1}{2}$ часа (раствор прибл. 60%-ный)	137 $\frac{1}{2}$	80	0.0026	0.0024	Раствор желтый
7	20 г $\text{Na}_2\text{S} \cdot 9\text{H}_2\text{O}$ в 25 мл воды. H_2S пропускался $\frac{1}{2}$ часа (раствор прибл. 60%-ный)	163 $\frac{1}{2}$	80	0.0028	0.0028	Раствор желто-зеленый
8	29 г $\text{Na}_2\text{S} \cdot 9\text{H}_2\text{O}$ в 25 мл воды. H_2S пропускался $\frac{1}{2}$ часа (раствор прибл. 90%-ный)	142	90	0.0014	0.0010	Раствор бесцветный
9	33 г $\text{Na}_2\text{S} \cdot 9\text{H}_2\text{O}$ в 25 мл воды. H_2S пропускался $\frac{1}{2}$ часа (раствор прибл. 90%-ный)	143	90	0.0002	0.0002	Раствор светло-желтый

Результаты опытов растворения золота в гидросульфиде натрия, проведенных в присутствии карбонатов натрия, калия и кальция, показали, что карбонаты Na, K, Ca как соли слабой кислоты и сильных оснований вызывают понижение растворимости золота, как это видно из опытов № 2, 3 и 4 (табл. 7). Это объясняется также и тем, что получается сильно щелочная среда, в которой не образуется гидросульфид.

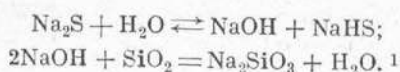
Наоборот, прибавление таких реагентов, как кварц и пирит (опыты № 5, 6, 7 — табл. 7) вызывает значительное увеличение растворимости золота. Это можно объяснить тем, что и кварц и пирит растворяются в гидросульфидах щелочей, связывая при этом свободную щелочь и повышая, таким образом, концентрацию NaHS .

Таблица 7

Влияние реагентов на растворимость золота в растворе NaHS

№ опыта	Материалы	Время (часы)	Температура (°C)	Убыль веса золота (г)	Найдено золота в растворе (г)	Результаты
1	20 г $\text{Na}_2\text{S} \cdot 9\text{H}_2\text{O}$ в 25 мл воды. H_2S пропускался $\frac{3}{4}$ часа (раствор прибл. 60%-ный). Опыт без примесей	137 $\frac{1}{2}$	80	0.0026	0.0024	Раствор желтый
2	21 г $\text{Na}_2\text{S} \cdot 9\text{H}_2\text{O}$ в 25 мл воды. H_2S пропускался $\frac{3}{4}$ часа (раствор прибл. 60%-ный). Прибавлено Na_2CO_3	140	80	0.0012	0.0012	Раствор желто-зеленый. В осадке соды золота нет
3	21 г $\text{Na}_2\text{S} \cdot 9\text{H}_2\text{O}$ в 25 мл воды. H_2S пропускался $\frac{3}{4}$ часа (раствор прибл. 60%-ный). Прибавлено 3 г K_2CO_3	142	80	0.0012	0.0010	Раствор желто-зеленый. В осадке золотанет
4	21 г $\text{Na}_2\text{S} \cdot 9\text{H}_2\text{O}$ в 24 мл воды. H_2S пропускался $\frac{3}{4}$ часа (раствор прибл. 60%-ный). Прибавлено 3 г CaCO_3	139 $\frac{1}{2}$	80	0.0014	0.0013	Раствор желтый. В осадке золота нет
5	21 г $\text{Na}_2\text{S} \cdot 9\text{H}_2\text{O}$ в 25 мл воды. H_2S пропускался $\frac{3}{4}$ часа (раствор прибл. 60%-ный). Прибавлено 3 г кварца	140	80	0.0072	В растворе 0.00686 В осадке 0.00039 Всего 0.00725	Раствор желтый. Осадок кварца фиолетовый
6	21 г Na_2S в 25 мл воды. H_2S пропускался $\frac{3}{4}$ часа (раствор прибл. 60%-ный). Прибавлено 5 г кварца	133	80	0.0134	В растворе 0.0086 В осадке . . 0.0045 Всего 0.0131	Раствор желтый. Осадок кварца фиолетово-черный
7	21 г $\text{Na}_2\text{S} \cdot 9\text{H}_2\text{O}$ в 25 мл воды. H_2S пропускался $\frac{3}{4}$ часа (раствор прибл. 60%-ный). Прибавлено 1 г пирита 70—150 меш	144	80	0.0082	В растворе 0.0074 В осадке . . 0.0004 Всего 0.0078	Раствор яржжелтый. В растворе много двухвалентного железа. Пластика золота покрыта черной пленкой сернистого железа

Реакция растворения кварца, очевидно, имеет такой вид:



Следует отметить, что стекло колбочек после экспериментов всегда было сильно разъедено.

При прибавлении пирита к раствору гидросульфида, после проведения опыта в растворе нами было найдено значительное количество двухвалентного железа. Здесь возможно образование растворимой двойной соли $\text{FeS} \cdot \text{Na}_2\text{S}$, аналогично тем двойным солям, которые получал Беккер (4) при изучении растворимости сульфида ртути в гидросульфидах щелочей ($\text{HgS} \cdot \text{Na}_2\text{S}$).

Интересно, что пирит из щелочно-сульфидных растворов не осаждает золота, в то время как для растворов хлорида золота пирит является одним из сильнейших восстановительных агентов. Щелочно-сульфидные золотые растворы не только устойчивы в отношении пирита, но, как видно

Таблица 8

Влияние температуры на растворимость золота в растворе NaHS

№ опыта	Материалы	Время	Температура (°C)	Убыль веса золота (г)	Найдено золота в растворе (г)	Результаты
1	6 г Na_2S в 25 мл воды. H_2S пропускался $\frac{1}{2}$ часа (раствор прибл. 20%-ный)	31 день	15	0.0005	0.0004	Раствор желтый
2	25 мл 12%-ного КОН. H_2S пропускался $\frac{1}{2}$ часа (раствор прибл. 20%-ный)	31 день	15	0.0003	0.0003	Раствор желтый
3	25 мл 12%-ного NaOH. H_2S пропускался $\frac{1}{2}$ часа (раствор прибл. 20%-ный)	31 день	15	0.0003	0.0003	Раствор желтый
4	7 г $\text{Na}_2\text{S} \cdot 9\text{H}_2\text{O}$ в 25 мл воды. H_2S пропускался $\frac{1}{2}$ часа (раствор прибл. 20%-ный)	140 час.	70	0.0007	0.0006	Раствор зеленый
5	7 г $\text{Na}_2\text{S} \cdot 9\text{H}_2\text{O}$ в 25 мл воды. H_2S пропускался $\frac{1}{2}$ часа (раствор прибл. 20%-ный)	138 час.	80	0.0010	0.0009	Раствор зеленый
6	6 г $\text{Na}_2\text{S} \cdot 9\text{H}_2\text{O}$ в 25 мл воды. H_2S пропускался $\frac{1}{2}$ часа (раствор прибл. 20%-ный)	90 час.	200	0.0323	Не определялось количественно	Данные Ogruzlo (7). Раствор желтый
7	6 г $\text{Na}_2\text{S} \cdot 9\text{H}_2\text{O}$ в 25 мл воды. H_2S пропускался $\frac{1}{2}$ часа (раствор прибл. 20%-ный)	90 $\frac{1}{4}$ час.	300	0.0634	Не определялось количественно	Данные Ogruzlo (7). Раствор светлозеленый

¹ Прибавляемый кварц был измельчен и просеян, и бралась фракция от 70 до 150 меш. Перед прибавлением кварца к раствору он был предварительно прокипячен в слабом растворе соляной кислоты, затем промыт и высушен. Эта операция производилась с кварцем для удаления возможных органических примесей.

из опыта № 7 (табл. 7), растворимость золота даже увеличивается в присутствии пирита. Как указано выше, это объясняется тем, что пирит, растворяясь в гидросульфидном растворе, выводит щелочь из реакции и этим повышает концентрацию NaHS .

Беккер (4) утверждает, что пирит, марказит, пиротин, золото-цинковая обманка, сульфиды меди, ртути, мышьяка и сурьмы растворяются в гидросульфидах щелочей, образуя двойные сульфиды с натрием, причем все эти растворимые сульфосоли могут существовать в присутствии карбонатов. Он также утверждает (4), что прибавление более сильной кислоты, чем H_2S , и пропускание самого сероводорода, а также разбавление раствора вызывают осаждение золота и других руд из растворов.

Мы проверили эти указания относительно золота и нашли, что ни пропускание H_2S (в течение 6 час.), ни разбавление раствора не вызывают осаждения золота.

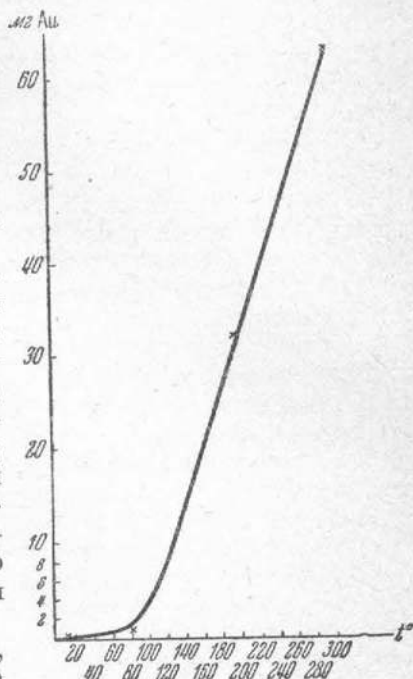
При подкислении раствора выделяется H_2S , элементарная сера и золото. Мы приводим анализ, из которого видно, что все золото при подкислении выпало вместе с серой в осадок: растворением золота в NaHS был получен раствор, содержащий в 250 мл раствора 0.0016 г золота; 50 мл этого раствора были обработаны 20 мл крепкой соляной кислоты. В выпавшем осадке было найдено 0.0003 г золота. Это полностью подтверждает, что все золото из раствора при подкислении перешло в осадок.

Остался невыясненным вопрос о том, в каком виде золото находится в растворе гидросульфида и по какому уравнению протекает реакция растворения золота гидросульфидом. Так как во многих месторождениях золото связано с ртутью, Беккер (4) предположил, что золото, растворяясь, дает аналогично с ртутью двойной сульфид с натрием, т. е. $\text{Au}_2\text{S}_3 \cdot \text{Na}_2\text{S}$. Это предположение аналитически никем не было доказано.

Абсолютные количества золота, переходящие в раствор при наших экспериментах, были весьма незначительны по сравнению с содержанием щелочи и серы, поэтому анализ раствора и установление формулы соединения, находящегося в растворе, были невозможны. Установление формулы соединения золота, растворяющегося при действии гидросульфида, является задачей будущего.

В табл. 8 и на фиг. 2 представлены результаты опытов, устанавливающих зависимость растворимости золота в NaHS от температуры. В виду отсутствия автоклава мы не имели возможности поставить опыты при температурах выше 100° , поэтому мы объединили результаты наших опытов, проведенных при температурах ниже 100° , с результатами, полученными Огрызло (7), который вел свои исследования только при высоком давлении и температурах выше 100° .

Кривая фиг. 2 показывает, что ниже 100° растворимость золота хотя и растет с увеличением температуры, но лишь очень незначительно по сравнению с участком кривой, относящейся к температурам выше 100° , где наблюдается резкое увеличение растворимости.



Фиг. 2

Растворимость золота в NaHS при комнатной температуре очень мала, и, как видно из опытов № 1, 2, 3, скорость растворения очень замедлена.

В некоторые случаи при повторении опытов у нас получались несходящиеся результаты; на это же указывал и Беккер (4), объяснявший отклонения результатов малейшими колебаниями чистоты NaHS (при его приготовлении). Возможно, что несовпадение результатов объясняется побочными реакциями образующейся щелочи со стеклом посуды, которое не имело стандартного состава.

ВЫВОДЫ

1. Подтверждены экспериментальные данные Огрызло (7) и Беккера (4) о том, что золото растворимо в слабых растворах гидросульфида натрия.

2. Установлено, что растворимость золота не зависит от агрегатного состояния.

3. При увеличении концентрации Na_2S в растворе растворимость золота растет до определенного предела, а затем снова падает. Дано химическое объяснение этому явлению.

4. С увеличением температуры (от 15 до 300°) растворимость золота быстро растет.

5. Установлено, что растворы золота в NaHS являются весьма прочными; осаждения золота сульфидами, сероводородом и карбонатами не происходит. Растворы разрушаются только кислотами, причем все золото выпадает в осадок.

6. Растворение золота в растворах NaHS задерживается присутствием карбонатов и другими щелочными агентами.

7. Реагенты, связывающие свободную щелочь (кварц и сульфиды) содействуют растворению золота в гидросульфидах.

8. Из нашей работы можно сделать вывод, что под действием NaHS золото может переноситься щелочно-сульфидными растворами через сульфидную зону без отложения металлического золота.

Можно представить себе, что гидротермальные растворы, проходящие через отложения золотосодержащих пиритов, будут обогащаться за счет растворяемого ими золота пиритов.

Далее золото может быть перенесено выше и отложено кислотами на границе между восстановительной и окислительной зонами.

Не только перенос, но и первичное образование золота можно себе представить, как отложение из щелочно-сульфидных растворов.

Исследования показали плодотворность гипотезы об отложении и переносе золота гидросульфидными растворами и подтвердили ее опытами.

Необходимы дальнейшие, более точные наблюдения в различных условиях, включая и опыты при высоких давлениях и температурах.

ЛИТЕРАТУРА

1. Звягинцев О. Е. и Паульсен И. А. Изв. Сектора платины, вып. 16 (1939).
2. Skey. Trans. New Zealand Inst., 5, 382 (1872).
3. Eggleston. Trans. Amer. Inst. Min. Eng., 9, 640 (1880—81).
4. Becker. Amer. Inst. Soc. [3], 33, 207 (1887).
5. Lenher. Econ. Geol. [7], 746 (1912).
6. Liversidge J. Roy. Soc. of New South Wales, 27, 303 (1893).
7. Ogrzylo. Econ. Geol. [7], 30, 400 (1935).

Поступило в редакцию 1 мая 1939 г.

Научно-исследовательский
геологоразведочный институт
золота (Нигризолото)