

VII. ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ СОВРЕМЕННОГО РУДООТЛОЖЕНИЯ НА ТЕРМАЛЬНОМ ПОЛЕ УЗОНА

Термальное поле Узона является исключительно удобным объектом для широких наблюдений физико-химического плана. Совпадение области разгрузки минералообразующих гидротерм с областью их глубинного формирования позволяет надеяться на максимальную сохранность эндогенной составляющей в растворах, проявляющихся по зонам глубинных тектонических нарушений. Изучение особенностей переноса рудных компонентов и физико-химических параметров гидротермальных растворов, равновесных с минеральными осадками, дает возможность получить информацию о реальных условиях гидротермального рудообразования.

Режимные наблюдения на естественных выходах термальных вод. По результатам многочисленных исследований наиболее характерным является Центральное термальное поле Узона.

Наши исследования были направлены на изучение параметров минералообразующих растворов (рН, Eh, C_{As} , C_{Sb} , C_{Fe}) в тесной связи с солевым составом растворов и конкретной ассоциацией рудных минералов. Главное внимание уделено получению информации непосредственно в полевых условиях.

Результаты физико-химических наблюдений. Для наблюдений выбирались постоянно действующие термальные источники, имеющие большие размеры грифона и нередко высокий дебит. Маленькие бессточные котлы характеризуются определенной спецификой минерального осадка. В большинстве случаев температура раствора в них, вследствие отсутствия протока, не превышает 50-60°, в них происходит интенсивная садка аурипигмента и скородита. Интерес представляют наблюдения за составом растворов, физико-химическими параметрами минералообразования и типами осадков, проведенные в 1970-1971 гг. в период активного (июль - август) и пониженного (апрель - май) поступления на термальное поле поверхностных вод (рис. 89)

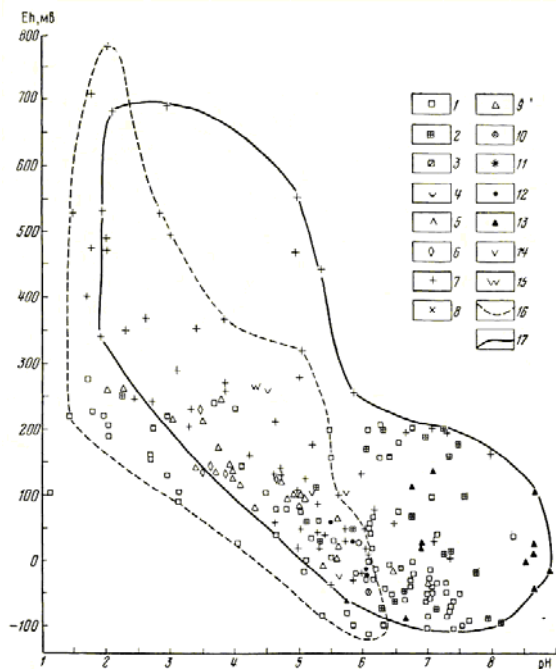


Рис. 89. Параметры рН и Eh термальных растворов

Узона, равновесных с минеральными осадками

Минеральные осадки в источниках: 1 - FeS_2 ; 2 - $FeS_2 + S^0$; 3 - $FeS_2 + SiO_2$; 4 - $Fe(OH)_3$; 5 - $Fe(OH)_3 + S^0$; 6 - $(Fe, As)O_4 \cdot 2H_2O + As_2S_3$; 7 - S^0 ; 8 - $S^0 + As_2S_3$; 9 - As_2S_3 ; 10 - $AsS + Sb_2S_3$; 11 - поверхностный водоток; 12 - AsS ; 13 - SiO_2 ; 14 - нефть; 15 - Hg^0 ; 16 - замеры сделаны в июле — августе 1970 г.; 17 - замеры сделаны в мае 1971 г.

Физико-химические параметры гидротермальных растворов испытывают направленные изменения во времени. Это выражается в увеличении щелочности растворов в зимнее время. Наиболее заметное увеличение характерно для источников, отличающихся высокой температурой (выше 60⁰С), большой газонасыщенностью и имеющих сток. Они, как правило, имеют более высокие содержания хлора (рис.90, табл.54).

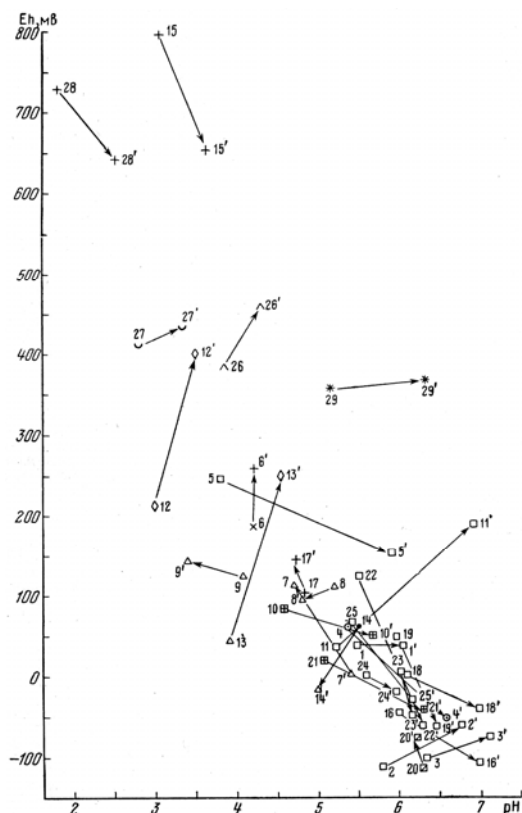


Рис. 90 Изменения Eh и pH термальных вод и холодных водотоков Узона.

Начало стрелки - данные на июль-август 1970г., конец стрелки - на май 1871 г. Условные обозначения см. на рис. 89.

Бессточные высокотемпературные грифоны в большинстве своем сохраняют pH без изменения. Сохраняется в них и характер осадкообразования (аурипигмент и скородит). Однако в двух искусственных источниках (шурфе и закопушке) изменяется реакция раствора и осадкообразование. В зимний период в шурфе резко понижается температура (с 50 до 23⁰С) и раствор становится несколько кислее. Если летом на бортах шурфа отлагается аурипигмент и раствор опалесцирует от тонкой взвеси серы, то в зимний период аурипигмент исчезает. В закопушке наоборот температура раствора увеличивается на 1⁰С, а pH возрастает с 5,4 до 6,6 (при 60⁰ С). Заметно меняется и окислительно-восстановительный потенциал (с плюс 61мв до минус 49мв). Эта закопушка попала в зону трещиноватости и вскрыла интенсивный приток глубинных термальных растворов. Параллельно с изменением pH в зимний период заметно изменяется и Eh растворов. Общей тенденцией является увеличение числа источников с восстановительным потенциалом, причем источники, имеющие высокий положительный Eh летом, в зимний период характеризуются или отрицательным Eh, или степень окислительности заметно снижается. Исключение составляют три крупных высокотемпературных источника: Бурлящий, гейзер Светлана и Голубой грифон Фумарольного озера. В них окислительно-восстановительный потенциал в зимнее время сдвигается в сторону положительного значения. Это можно объяснить тем, что все три грифона расположены на периферийных участках термального поля, где в зимнее время накапливается мощная (до 3-4 м) толща снега. Воздействие высокотемпературных паров приводит к подтаиванию снега и поступлению талой воды в грифон. Последняя обладает высокой окислительной способностью. Замеры производились вблизи берега, где это разбавление интенсивнее.

Результаты режимных наблюдений на термоаномалии Узон

Номер пункта	Замеры 15 июля — августа 1970 г.				Замеры 2—20 мая 1971 г.				Место наблюдения
	°C	pH _t *	Eh, мВ	Минеральный осадок	°C	pH _t	Eh, мВ	Минеральный осадок	
Центральный участок									
1	88	5,5	+46	FeS ₂	90	6,05	+41	FeS ₂	Источник Центральный
2	86	5,8	-109	»	94	6,75	-59	FeS ₂	Источник Бурлящий
3	78	6,35	-99	»	83	7,15	-74	FeS ₂	Высокодебитный грифон на юго-западе Хлоридного озера. Точка 35
4	88	5,4	+61	AsS + Sb ₂ S ₃	89	6,6	-49	AsS + Sb ₂ S ₃	Законупка. Точка 20
5	49	3,8	+240	As ₂ S ₃ + FeS ₂	51	5,9	+150	FeS ₂	Северо-западный борт Хлоридного озера, грифон 17
6	50	4,2	+184	S + As ₂ S ₃ (?)	23	4,2	+251	S°	Шурф в центре Центрального участка. Точка 56
7	61	5,4	+4	As ₂ S ₃	59	4,7	+111	As ₂ S ₃	Южная часть поля. Точка 222
8	42	5,2	+114	As ₂ S ₃	42	4,8	+96	As ₂ S ₃	В 5 м от точки 56 маленький котелок
9	52	4,1	+121	As ₂ S ₃	53	3,4	+141	As ₂ S ₃	Точка 57
10	62	4,6	+81	FeS ₂ + (S°)	65	5,8	+54	FeS ₂ + S° (?)	Маленький бессточный котелок вблизи Центрального источника
11	74	5,2	+36	FeS ₂	72	6,9	+190	FeS ₂	Южная часть поля. Точка 53
12	30	3,0	+205	As ₂ S ₃	35	3,5	+390	As ₂ S ₃	Мелкие проколы вблизи точки 56
13	62	3,95	+46	As ₂ S	59,5	4,45	+245	As ₂ S ₃	Шурф, вскрывший реалгаровый слой. Рядом с точкой 20
14	72,5	5,5	+61	AsS	60	5,0	-15	As ₂ S ₃	
15	20	3,05	+771	S°	10	3,6	641	S°	Озеро Восьмерка
16	77	6,0	-40	FeS ₂	96	7,6	-100	FeS ₂	Шурф скв. Р-2. Идет интенсивный сток **
I участок									
17	41	4,8	+101	S	39	4,7	+141	S	Озеро Банное
18	86	6,1	+1	FeS ₂	86	7,0	-39	FeS ₂	Пиритный котел № 3/71
19	78	6,0	+41	S° + FeS ₂	80	6,5	-20	FeS ₂	Источник № 1/71
20	85	6,3	-111	FeS ₂ + SiO ₂	85	6,25	-74	FeS ₂ + SiO ₂	Гейзер Светлана
21	83	5,1	+21	S° + FeS ₂	83	6,3	-42	FeS ₂ + S	Источник 7/71
22	85	5,5	+120	FeS ₂	86	6,3	-59	FeS ₂	Источник 8/71
23	87	6,1	+1	FeS ₂	87	6,2	-42	FeS ₂	Источник 10/71
24	66	6,1	-19	FeS ₂	67	5,6	+1	FeS ₂	Черное озеро
25	58	5,4	+61	FeS ₂	58	5,15	-29	FeS ₂	Источник Малыш в левом борту ручья Мипин
26	67	3,85	+376	S° + Fe(OH) ₂	66	4,25	+451	S° + Fe(OH) ₂	Голубой грифон у Фумарольного озера
27	74	2,8	+401	Fe(OH) ₃	74	3,4	+426	Fe(OH) ₃	Рыжий грифон у Фумарольного озера
28	27	1,75	+711	S°	19,5	—	+625	S°	Западный залив Фумарольного озера
29	6	5,1	+351		10	6,3	+366		Ручей Комариний

* При температуре раствора в источнике выше 60°C замеры pH проводились в стакане с предварительным охлаждением до 60°C.

** Скважина пробурена 10/V 1971 г. Вторично замеры проводились 1/VIII 1971 г.

Анализируя результаты летних и зимних наблюдений, можно отметить существенный сдвиг параметров pH, Eh в более щелочную и восстановительную область в зимний период (см. рис. 90).

Особенно это показательно для грифонов, в которых идет отложение сульфидов железа и гейзерита. Их число в зимний период возрастает. Пиритных котлов с pH ниже 5,5 в этот период исключительно мало.

Резко уменьшается и количество источников с аурипигментом. По мере нарастания обводненности термальных полей в связи с таянием снега на поле вновь появляются многочисленные мелкие проколы и грифоны с интенсивно идущим отложением аурипигмента. В некоторых крупных грифонах понижаются температура и pH, а Eh становится более высоким. По бортам таких грифонов зачастую начинает осаждаться аурипигмент. Летом 1971 г. подмечена весьма характерная особенность осадкообразования. В шурфе скв. Р-2, пробуренной в мае 1971 г., отлагаются только сульфиды железа. В ручейке, вытекающем из шурфа, в 4 м от истока, начинает отлагаться аурипигмент (Т-44°C, pH - 4,75; Eh +310 мв). Содержание мышьяка в растворе шурфа достигает 5,0 мг/л, а в ручье, в месте осаждения аурипигмента - 1,8 мг/л. Аналогичная картина прослежена в скв. Р-9 и Р-11. Скв. Р-9 в мелкой закопушке на глубине 20 см вскрывает зону реальгара. Раствор, тотчас заполняющий закопушку, имеет температуру 72°C; pH - 6,0; Eh + 60 мв; C_{Cl} 1,3 г/л; C_{As} + 8 мг/л. Будучи пробуренной до глубины 2,5 м с изоляцией верхнего горизонта обсадной трубой до 2 м, скважина дает самоизливающуюся воду с совершенно иными параметрами (Т-96°C, pH₉₆ 6,9, Eh - 70 мв, C_{Cl} 2,48 г/л, C_{As} 30 мг/л).

Изучение керна скважины показало, что в интервале 0-5 см по супеси и мелким обломкам пемзы интенсивно развит тонкозернистый аурипигмент зеленовато-желтого цвета (с примесью скородита). В интервале 5-20 см в цементе мелкозернистых гравелитов обильно отлагаются тонкодисперсные сульфиды железа черного цвета и тонкие корочки марказита. На глубине 10-20 см вскрыта зона реальгаризации, представляющая собой серию тонких прожилков с мелкозернистым реальгаром красного цвета. Глубже 20 см залегают те же гравелиты с сульфидами железа в виде довольно крупных (до 2-3 мм) кубических кристаллов пирита латунно-желтого цвета. В интервале 60-80 см обнаружена зона развития антимонита тонкоиглочатого габитуса (размер кристаллов не более 2 мм). Ниже прослеживается зона интенсивного развития сульфидов железа. Скважина Р-11 пробурена через мелкий котел с осадком аурипигмента. Раствор в нем имел температуру 57°C, pH - 5,6, Eh +1 мв, C_{Cl} -1,56 г/л, C_{As} - 2,0 мг/л. После бурения до глубины 2,0 м и обсадки верхнего горизонта до глубины 1,7 м из скважины искусственной откачкой извлечено свыше 100 л раствора. В промытой таким образом скважине температура на устье поднялась до 92°C, а глубинный раствор имел pH-6,3, Eh - 64 мв и C_{Cl} -2,48 г/л, C_{As} -8,0 мг/л. В области pH 8-11 существуют оба комплекса $HSb_2 S_4^-$ $Sb_2 S_2^-$. По-видимому, в аналогичной форме могут переноситься и родственные сурьме соединения мышьяка.

На ход осадконакопления, кроме повышенных содержаний Se^- и металлов в глубинных растворах, существенное влияние оказывают Т, Eh, pH. Eh контролируется содержанием в растворе $H_2S + HS^-$. Высокотемпературные источники (pH 6-8), в которых идет отложение сульфидов Fe и гейзеритов, расположены на линии I, фиксирующей сдвиг в восстановительную область с увеличением содержания в водах $H_2S + HS^-$. Источники котлов (pH 3,5-6), в которых отлагается аурипигмент и скородит, ложатся на линию II. Здесь отсутствует корреляция Eh с содержанием сульфидных и гидросульфидных ионов (рис. 91).

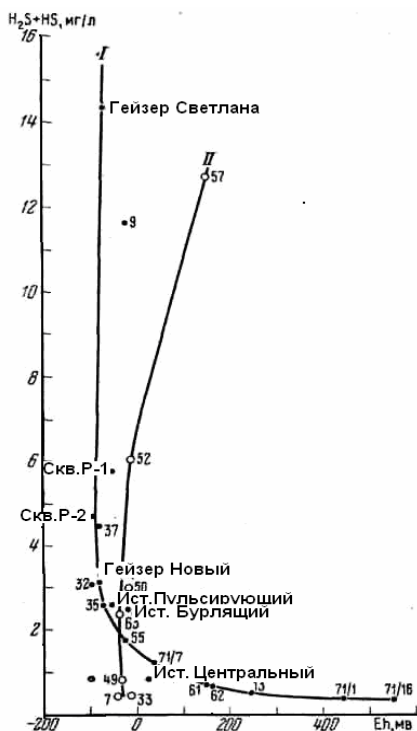


Рис. 91. График изменения Eh термальных вод в зависимости от содержания в них суммы $H_2S + HS^-$

I - замеры в высокотемпературных нейтральных и щелочных источниках (номера с черными кружками); II - замеры в кислых источниках (номера с белыми кружками)

Форма переноса компонентов. Некоторые исследователи считают, что элементы группы А переносятся в щелочных растворах в виде легкорастворимых комплексов (Павлов, 1968; Колпакова, 1971).

Н. Н. Колпакова считает, что в интервале pH = 3 - 8 в сульфидных растворах может существовать комплекс HSb_2S_4^- .

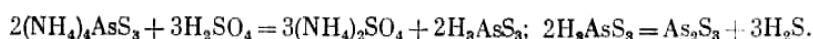
Сравнение величин свободных энергий (ΔF°) AsS и As_2S_3 , рассчитанных для температур от 25 до 100°C (Сергеева и др., 1971), показывает крайне незначительное увеличение свободной энергии образования реальгара и аурипигмента с понижением температуры (табл. 55).

Таблица 55

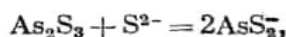
Свободная энергия	Температура, °C		
	25	50	100
$\Delta F^\circ_f; T \text{ AsS}, \text{ ккал/моль}$	-8,46	-8,45	-8,35
$\Delta F^\circ_f; T \text{ As}_2\text{S}_3, \text{ ккал/моль}$	-22,9	-22,8	-22,6

Расчеты свободных энергий реакции образования аурипигмента по реакции $3\text{H}_2\text{S} + 2\text{H}_3\text{AsO}_3 = \text{As}_2\text{S}_3 + 6\text{H}_2\text{O}$ также дают весьма малые изменения ΔF реакции с температурой (соответственно -34,24, -32,82 и -29,47 ккал/моль).

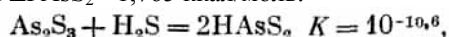
Наблюдения показывают, что на термальном поле Узона реальгар образуется в узком интервале глубин и температур, глубже 1 м (T-98°C, pH-7, Eh - 25 мв) реальгар и аурипигмент редки. Из этих растворов (при T - 25- 55°C, pH не выше 5,4 и Eh более нуля) в близповерхностных и поверхностных условиях идет интенсивная садка аурипигмента. Следовательно, ограниченность и прерывистость зон максимального отложения реальгара и аурипигмента говорят о специфике условий кристаллизации, заключающихся в том, что, несмотря на благоприятные энергетические условия системы в широком интервале температуры, соединения мышьяка устойчивы в щелочных и нейтральных растворах и распадаются с образованием сульфидов мышьяка именно в приповерхностной зоне подкисления и более высокого окислительного потенциала. Такими соединениями могут быть соли тиомышьяковистой (H_3AsS_3) и тиомышьяковой (H_3AsS_4) кислот (Павлов, Путилова и др., 1969), легко разлагающиеся, например, по таким реакциям:



Подкисление растворов в приповерхностной зоне может быть объяснено также и образованием серной кислоты за счет тионовых бактерий, окисляющих элементарную серу (Заварзин и др., 1967). Произведем расчет равновесных систем при температуре 25°C, исходя из представления о переносе мышьяка в форме сульфидных комплексов. Из-за отсутствия данных по константам реакций нельзя рассчитать все предполагаемые комплексы. Для расчетов мы воспользовались величинами констант реакций образования комплексов AsS_2^- и HAsS_2^- , приведенными в работе Г. Л. Барнса и Г. К. Чаманского (1970):

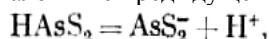


$K = 10^{2.0} \cdot \Delta F^\circ$ реакции = -1,364 lgK, ΔF° реакции = -2,73 ккал/моль. ΔF° реакции = $2\Delta F_{\text{AsS}_2^-} - \Delta F_{\text{As}_2\text{S}_3} - \Delta F_{\text{S}^{2-}}$. Подставляя справочные значения свободных энергий образования кристаллического As_2S_3 и иона S^{2-} и приравнявая правую часть уравнения к значению рассчитанной свободной энергии реакции образования, получаем $\Delta F_{\text{AsS}_2^-} = 1,765$ ккал/моль.



ΔF реакции = -1,364·lgK = 14,46 ккал/моль.

Аналогично предыдущему, исходя из реакции, рассчитываем $\Delta F_{\text{HAsS}_2^-} = -7,49$ ккал/моль.



ΔF реакции = $F_{\text{AsS}_2^-}^\circ - F_{\text{HAsS}_2^-}^\circ$.

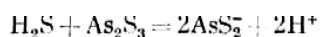
Подставляя полученные данные, получаем ΔF° реакции = 5,73 ккал/моль, но ΔF° реакции = -1,364·lgK откуда $K = 10^{-4,2}$

$$K = \frac{[\text{AsS}_2^-][\text{H}^+]}{[\text{HAsS}_2^-]}.$$

Подставляя значение K и логарифмируя, получаем:

$$\begin{aligned} -4,2 &= \lg a_{\text{AsS}_2^-} - \text{pH} - \lg a_{\text{HAsS}_2^-}, \text{ т. е.} \\ \text{pH} &= 4,2 + \lg a_{\text{AsS}_2^-} - \lg a_{\text{HAsS}_2^-} \end{aligned}$$

Отсюда следует, что в щелочной области основной формой переноса мышьяка будет комплекс AsS_2^- . Рассчитаем условия образования аурипигмента в растворах, содержащих сероводород:



$$\Delta F \text{ реакции} = 2\Delta F_{\text{AsS}_2^-}^\circ - \Delta F_{\text{H}_2\text{S}}^\circ - \Delta F_{\text{As}_2\text{S}_3}^\circ$$

$$\Delta F \text{ реакции} = 2(-1,765) - (-6,54) - (-22,9) = 25,91 \text{ ккал/моль.}$$

По формуле ΔF° реакции = -1,364·lgK получаем $K = 10^{-19}$. Исходя из предыдущей реакции:

$$K = \frac{[\text{AsS}_2^-]^2 [\text{H}^+]^2}{[\text{H}_2\text{S}][\text{As}_2\text{S}_3]}.$$

Подставляя значение К и логарифмируя, получаем:

$$\text{pH} = 9,5 + \lg a_{\text{AsS}_2^-} - 0,5 \lg a_{\text{H}_2\text{S}} - 0,5 \lg a_{\text{As}_2\text{S}_3}.$$

Так как As_2S_3 присутствует в нашей системе в виде твердой кристаллической фазы, то $a_{\text{As}_2\text{S}_3} = 1$ и формула будет иметь вид:

$$\text{pH} = 9,5 + \lg a_{\text{AsS}_2^-} - 0,5 \lg a_{\text{H}_2\text{S}}.$$

Анализ этого уравнения показывает, что в водных системах с содержанием H_2S порядка 10^{-4} (реально замеренное на Узоне), функциональная зависимость между pH и активностью ионов имеет следующий вид: $\text{pH} = 11,5 + \lg a_{\text{AsS}_2^-}$. Отсюда видно, что при pH - 8 активность ионов AsS_2^- составляет $10^{-3,5}$ и при pH - 4 снижается до $10^{-7,5}$.

Таким образом, при постоянной активности H_2S повышение щелочности раствора благоприятствует накоплению в системе ионизированных частиц AsS_2^- . Снижение щелочности ведет к распаду комплекса AsS_2^- и выпадению сульфида мышьяка.

Такая картина наблюдается в гидротермальной системе Узона, где глубинные растворы характеризуются щелочной реакцией и высоким (до 30 мг/л) содержанием мышьяка в растворе. На глубине не происходит отложения сульфидов мышьяка. В приповерхностных условиях, при подкислении раствора до pH 4-5 происходит садка реальгара и аурипигмента и содержание мышьяка в растворе резко снижается.

Физико-химические условия минералообразования. Наблюдениями устанавливается связь типов минеральных осадков с температурой, кислотностью - щелочностью и окислительно-восстановительным потенциалом гидротермальных растворов. На диаграмме pH - Eh, отражающей результаты режимных наблюдений, выделяются поля осаждения минеральных ассоциаций (рис. 92).

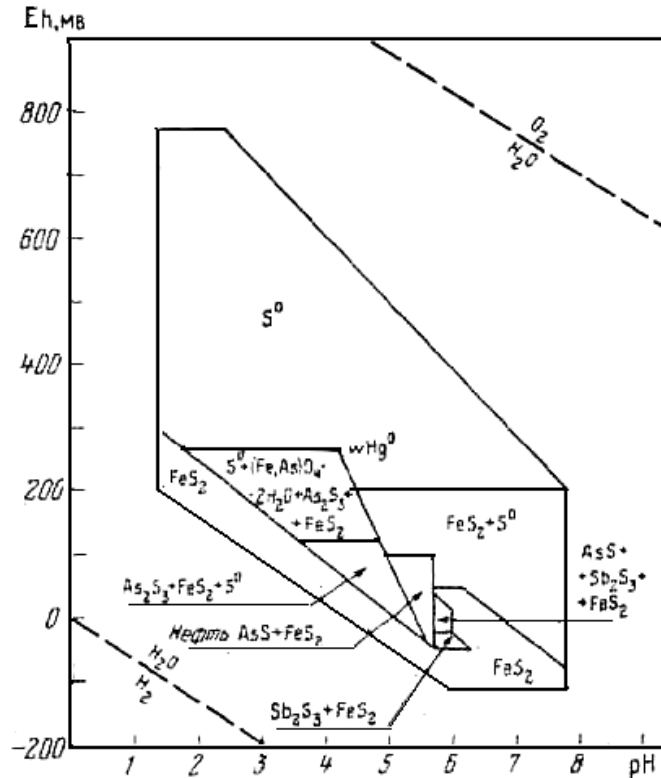


Рис. 92. Диаграмма pH - Eh полей осаждения минеральных ассоциаций Узона

Характеристика pH среды дана при естественной или близкой к ней температуре, границы гидротермальной области рассчитаны по уравнению Нернста для температуры 60°C и давления 1 атм. Как видно из этой диаграммы, сульфиды железа осаждаются в широком интервале значений pH - Eh. Тем не менее, основное поле их развития тяготеет к нейтральным и щелочным условиям с отрицательным значением окислительно-восстановительного потенциала. Это особенно хорошо наблюдается по точкам фактических замеров условий осаждения сульфидов железа, сгущающимся в правой нижней части диаграммы (см. рис. 89). В разрезе термального участка сульфиды железа прослеживаются по всей глубине шурфов и скважин.

Поле кристаллизации антимонита локализуется в области почти нейтральных растворов с их четко выраженной восстановительной тенденцией. Зона с антимонитом совпадает с полем развития сульфидов

железа, но расположена ниже зоны реальгара. Верхняя граница зоны антимонита непосредственно граничит с зоной реальгара. Их ассоциация довольно тесная, но в слабоокислительной среде, где реальгар еще устойчив, антимонит не встречается. Характерно их поле развития в области pH 5,2-5,7 и Eh не выше +100 мв. Аурипигмент занимает большое поле. Для него характерно развитие в кислой среде с окислительной тенденцией, нередко в тесной ассоциации со скородитом и самородной серой. Самородная ртуть встречена под тонкой глинистой покрывкой в парагенезисе с серой и скородитом, в обстановке высокого окислительно-восстановительного потенциала (+270 мв).

Описанная зональность развития рудных минералов, хорошо соответствующая их вертикальной зональности в разрезе термального поля, показывает, прежде всего, преобладающую роль окислительно-восстановительных реакций в формировании типов осадков. Повышение окислительности среды, вызывающее соответственно и подкисление растворов, приводит к закономерной смене минеральных ассоциаций в вертикальном и горизонтальном профилях. Более глубинные растворы, характеризующиеся щелочной реакцией и восстановительной средой, обуславливают кристаллизацию пирита, антимонита и реальгара. По мере окисления растворов за счет вторичных факторов главенствующими минералами в осадках становятся аурипигмент и скородит. Хлоридно-натриевые растворы, вскрытые скважинами по зонам тектонических нарушений, глубинные и наиболее близкие к эндогенным гидротермам. Термальные воды, первичный состав которых изменен в приповерхностных условиях процессами окисления, разбавления и др., играют важную роль в минералоотложении. Их роль в основном сводится к созданию гидрохимического барьера, в пределах которого происходит резкое нарушение условий равновесного переноса компонентов глубинного раствора и выпадение определенного типа осадка (реальгара, аурипигмента, скородита).

Баланс выноса мышьяка. На Центральном поле формируется довольно выдержанный по мощности приповерхностный слой пород, обогащенный рудными минералами, (главным образом сульфидами мышьяка). Это обстоятельство позволяет провести ориентировочные расчеты о накоплении рудного вещества. Этому благоприятствует легко подсчитываемый суммарный дебит термальных растворов, почти полностью поступающих в Хлоридное озеро, из которого вытекает один удобный для замеров теплый ручей. Второй крупной системой поступления термальных вод является группа грифонов вокруг Центрального источника, также объединенных одним ручьем. По данным Г. Ф. Пилипенко, полученным в августе 1968 г., сток из Хлоридного озера равен 21,5 л/сек, дебит источника Центрального - 1,5 л/сек, т. е. суммарный дебит горячих вод Центрального участка равен 23 л/сек. Учитывая скрытую разгрузку и потери на испарение, можно принять расход термальных растворов, поступающих через Центральный участок, равным 25 л/сек. На дне Хлоридного озера, имеющего среднюю глубину около 1 м (при существовании отдельных воронок глубиной от 5 до 30 м), происходит осаждение аурипигмента. Мощность слоя донного ила, обогащенного аурипигментом, не превышает 0,25 м. Аналогичную мощность зоны существенного развития аурипигмента вскрывают все скважины и шурфы. За исходную концентрацию мышьяка в растворе до начала кристаллизации мышьяковистых минералов принимаем 12 мг/л. Такова концентрация As в пробе раствора, отобранного из закопушки, вскрывающей зону реальгаризации. За остаточное содержание мышьяка в отработанном растворе принимаем его содержание в стоке оз. Хлоридного, равное 0,2 мг/л. Площадь участка развития мышьякового оруденения, рассчитанная по квадратам, равна 48700 м². При мощности зоны оруденения 0,25 м объем зоны равен 12175 м³. Среднее содержание As в этой зоне, исходя из химических анализов, принимаем 5%, удельный вес мышьяка 3,49 г/см³. В зоне оруденения находится в настоящее время 2125 т мышьяка. В соответствии с дебитом термальных растворов на Центральном поле Узона должно отлагаться 9,3 т мышьяка в год. При условии неизменности современного режима поступления и состава термальных вод в прошлом зона оруденения должна была сформироваться за 228 лет. Если исходить из максимальной концентрации мышьяка в растворе, равной 30 мг/л (скв. Р-9 глубина 2 м), то время накопления современного рудного слоя сокращается до 100 лет. По геологическим данным, возраст Узонской гидротермальной системы составляет не менее 10 тысяч лет.

Таким образом, гидротермальный процесс в приповерхностной зоне испытывает периодическую инверсию; периоды накопления рудного вещества чередуются с периодами его растворения и сноса. Накопление идет в летний период, в обстановке более высокого окислительного потенциала и кислых растворов.