

А. Л. ПАВЛОВ, Г. А. КАРПОВ

ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ СОВРЕМЕННОГО РУДООБРАЗОВАНИЯ В КАЛЬДЕРЕ УЗОН (КАМЧАТКА)

(Представлено академиком В. А. Кузнецовым 14 IX 1971)

Среди многочисленных источников термальных вод в пределах кальдеры Узон в структурном отношении и по характеру отчетливо выделяются источники, которые можно квалифицировать как магматогенные рудообразующие. Это обстоятельство, отмеченное в ряде работ предыдущих исследователей (¹, ²), было уточнено нами при помощи многократных измерений T , pH , Eh , активности сульфидной серы и путем химического анализа на некоторые растворенные компоненты как в летний период, так и перед весенним таянием. Особое внимание уделялось изучению минеральных и рудных отложений, связанных с этими водами.

Наши исследования, проведенные летом 1970 г. и весной 1971 г., подтвердили (¹), что хотя в пределах термального поля и наблюдается резкая гетерогенность вмещающих руденение аллювиально-делювиальных отложений (рыхлых гравеллитов), тем не менее в характере отложения рудных и нерудных минералов наблюдается четкая зональность. Последняя, судя по непосредственным измерениям T , pH , Eh и активности сульфидной серы гидротерм, находящихся в равновесии с минеральными осадками, имеет закономерную связь с характером изменения термодинамических параметров системы (рис. 1). Прежде всего выяснилось, что глубинные хлоридно-натровые растворы, обогащенные сульфидной серой, аммиаком и рядом рудных компонентов, характеризуются такими значениями pH , которые превышают величину 7,0 и имеют отрицательные значения Eh .

Для источников подобного рода характерно заметное содержание ионов хлора (850—1500 мг/л), кремнекислоты (200—220), сульфидной серы (до 14,0) и невысокие, но достаточные для минералообразования содержания мышьяка (до 2,0) и сурьмы (до 0,56 мг/л). Железо в виде простых ионов для этих растворов не характерно.

При анализе диаграммы (рис. 1) выяснилось, что установленная визуально зональность отложения четко фиксируется и на диаграмме, корре-

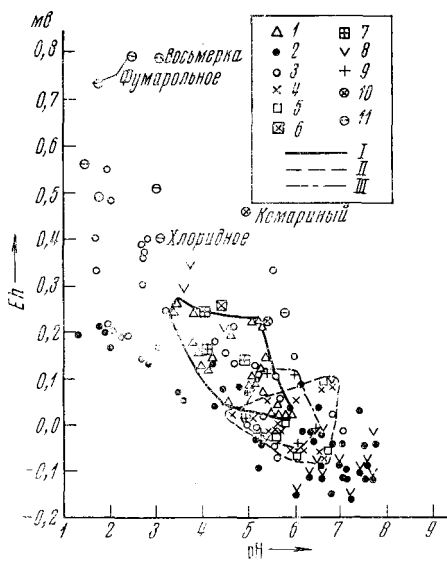


Рис. 1. Величины Eh и pH в термальных водах кальдеры Узон, равновесных с минеральными осадками. I — аурипигмент, 2 — пирит, 3 — самородная сера, 4 — реальгар, 5 — антимонит, 6 — самородная ртуть, 7 — скородит, 8 — опал, 9 — жидкие углеводороды, 10 — поверхностные водотоки, 11 — озера. Контуры зон: I — аурипигментовой, II — углеводородной, III — реальгар-антимонитовой

лируя прежде всего, с изменением Eh и pH и активностью сульфидной серы. Так, в нижних зонах пиритизации растворы характеризуются еще достаточно высокими значениями pH и активности сульфидной серы при максимально низких значениях Eh . Для зоны реальгаризации, расположенной выше, характерно некоторое общее повышение Eh при частичном снижении pH и активности сульфидной серы. С зоной реальгаризации совмещается зона осаждения антимонита. И, наконец, в зоне осаждения аурипигмента, располагающейся в непосредственной близости от поверхности, растворы уже приобре-

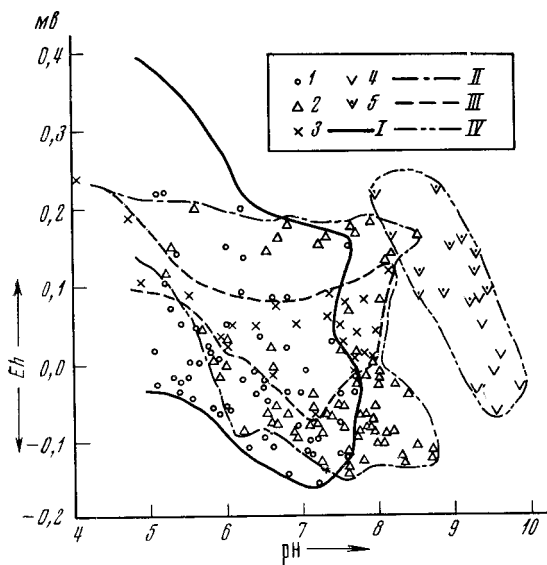


Рис. 2. Величины Eh и pH в термальных водах кальдеры Узон (контуры I, II и III) и Долины Гейзеров (контур IV). I — июль — август 1970 г., 2 — май 1971 г., 3 — май 1971 г. (источники, содержащие в водах цианидные комплексы железа), 4 — 9 V 1971 г. в Долине Гейзеров (перед таянием снегового покрова), 5 — 18 V 1971 г. (начальный период активного таяния снегового покрова)

туют заметную кислотность и положительные значения Eh . Последующий рост окислительности системы, способствующий дальнейшему росту кислотности, благоприятно сказывается на интенсификации образования скородита, самородных серы и ртути. Возрастание роли окислительных реакций в приповерхностных условиях приводит в итоге к тому, что отработанные и разбавленные гидротермы (а к ним в какой-то степени относятся воды озер Хлоридного, Фумарольного, Восьмерки и ряда других) приобретают повышенную кислотность (pH до 1,75) и высокий окислительный потенциал (Eh до 790 мВ).

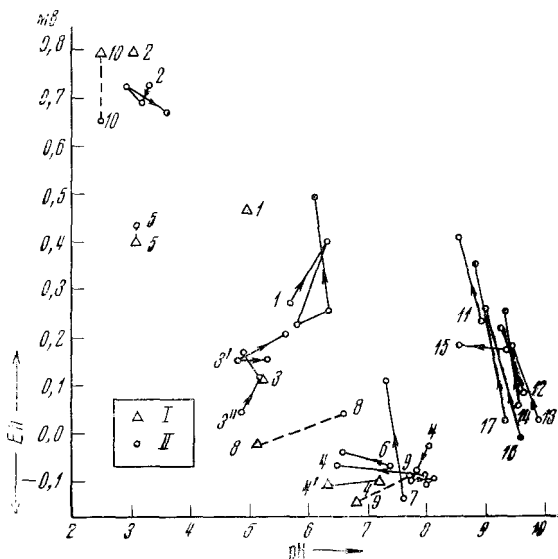
Следует заметить, что описанная выше зональность, коррелирующая с изменением Eh и pH системы, наблюдается и при непосредственном смешении глубинных щелочных восстановительных раство-

ров с кислыми окислительными водами озер кальдеры. При этом резкая смена pH и Eh обуславливает и резкое сближение минерализованных зон и интенсификацию процессов окремнения рыхлых толщ в зоне смешения. В целом же, как это следует из рис. 1, рост кислотности гидротерм обусловлен, прежде всего, высокой контрастностью по Eh щелочных восстановительных рудоносных гидротерм и поверхностных вод, типичным представителем которых являются воды р. Комариного. Эти воды, обогащенные свободным кислородом воздуха, способствуют окислению сульфидной серы гидротерм до сульфатной, приводя к заметному подкислению гидротермальных растворов в зоне смешения.

лов, обладая повышенной устойчивостью в щелочно-сульфидных растворах, активно разлагаются при кипячении в кислой среде, что благоприятно сказывается на сульфидообразовании.

Последующие исследования тех же растворов, которые непосредственно в поле давали яркую качественную реакцию на цианидные комплексы железа, через два месяца в лабораторных условиях дали полное отсутствие их в анализируемых водах. При этом было зафиксировано резкое увеличение Eh (на 0,4—0,5 в) и pH (на 1,0—1,5). Такие результаты указы-

Рис. 3. Изменение Eh и pH вод термальных источников, озер и водотоков при их разбавлении атмосферными и тальными водами. I — июль — август 1970 г., II — май 1971 г., таяние снегового покрова. Стрелками показано направление изменения pH и Eh вод в пределах одного объекта в процессе усиления разбавления. 1 и 1' — р. Комаринный, 2 и 2' — оз. Восьмерка, 3 и 3' — оз. Банное, 3^б — сток из оз. Банного, 4 — источник на берегу оз. Хлоридного (пункт 2), 4' и 4'' — тот же источник соответственно в июле и начале августа 1970 г., 5 — оз. Хлоридное, 6 — скв. Р-1, 7 — скв. Р-2, 8 — источник Центральный, 9 — источник Бурлящий, 10 — оз. Фумарольное, 11 — р. Гейзерная, 12—17 — гейзеры и источники Долины Гейзеров (12 — Удачный, 13 — Сахарный, 14 — Тройной, 15 — Великан, 16 — Пульсирующий, 17 — Жемчужный)



вают прежде всего на необходимость исследования этих комплексов в «живых» растворах непосредственно на месте, т. е. до того как произойдет их химическая релаксация.

Специфические, по ряду параметров однозначные результаты были получены нами при изучении влияния разбавления термальных глубинных вод поверхностными тальными водами. Наблюдения показали, что весной, по сравнению с предыдущим летом, отмечается резкое уменьшение грифонов и котлов, в которых происходит осаждение аурипигмента. Реальгаровые котлы и грифоны практически отсутствуют. В свою очередь, ранней весной количество котлов и грифонов, в которых происходит осаждение скородита, резко увеличивается. Таким образом, оказывается, что хотя весной в приповерхностных зонах разгрузки термальных вод Узона общая степень разбавления по объему значительно ниже, однако окислительный потенциал вод источников оказывается несколько выше. Об этом же свидетельствуют замеры Eh термальных вод (рис. 2).

Как правило, ранней весной оказывается несколько повышенной по сравнению с летними измерениями и температура источников. В ряде случаев эта разница достигает нескольких градусов.

К сожалению, не удалось получить однозначных результатов об изменении содержания в термальных водах при их разбавлении таких элементов, как хлор и мышьяк. Так, например, если в одном из источников, расположенных на западном берегу Хлоридного озера, содержание хлора несколько увеличилось (320 мг/л при 227,5 мг/л предыдущим летом), то содержание мышьяка осталось неизменным (0,4 мг/л). В свою очередь, в водах Центрального источника весной содержание хлора несколько уменьшилось (1630 при 1854 мг/л летом), тогда как содержание мышьяка заметно возросло (5 при 3 мг/л летом).

Более однозначная информация по разбавлению была получена авторами при сопоставлении величин Eh и pH , полученных летом 1970 г. и в

мае 1971 г. Помимо этого последовательное измерение Eh и pH источников в мае 1971 г. по мере нарастания обводненности термальных полей при интенсификации таяния снегового покрова позволило проследить изменение этих параметров во времени (рис. 2 и 3).

Прежде всего обращает на себя внимание тот факт, что при минимальном разбавлении термальных вод ранней весной на поверхность поднимаются более щелочные восстановительные порции растворов, которые, по мнению авторов, ближе всего соответствуют первичным глубинным гидротермальным растворам. Так, например, на Узоне удалось зафиксировать термальные воды, имеющие на выходе Eh — 125 мВ и pH 8,7. В свою очередь, в Долине Гейзеров термальные воды одного из источников в районе гейзера Сахарного имели Eh — 34 мВ и pH 9,85.

Весьма показательно, что по мере разбавления источников pH и Eh приближаются к тем величинам, которые были получены в период летних исследований, т. е. в период максимального разбавления термальных вод.

Следует особо подчеркнуть еще и тот факт, что весной в процессе таяния снегов достаточно заметно (см. рис. 3) возрастает окислительный потенциал вод поверхностных водотоков.

Таким образом, приведенный материал позволяет утверждать, что глубинные рудоносные гидротермы кальдеры Узон в транспортной зоне обладают щелочной восстановительной реакцией; здесь перенос рудных компонентов может осуществляться в виде тиосульфидных, гидросульфидных и цианидных комплексов. Разложение этих комплексов в зоне подкисления приводит к зональному отложению рудных и нерудных минералов.

Для проверки данного положения дополнительно была проведена непосредственно на термальных полях Узона серия экспериментов. За исходные гидротермы были приняты термальные воды скв. Р-2 (98° , pH 7,6, Eh — 135 мВ, $C_{Cl} = 1450$ мг/л, $C_{As} = 1,0$ мг/л), в устье которой были опущены стеклянные сосуды, заполненные песком, пропитанным 20% раствором одной из кислот (H_2SO_4 , HCl , HNO_3). Обмен компонентами между раствором и содержимым сосудов осуществлялся диффузионным путем. По истечении 48 час. оказалось, что при одной и той же температуре ближе к входной части сосуда произошло осаждение реалгара (переходная зона от щелочных растворов к кислым). Ниже этой зоны внутри сосуда в области более повышенной кислотности произошло активное осаждение аурипигмента как в межзерновых пространствах, так и на поверхности песчинок. Следует заметить, что в то же самое время в сосудах, песок которых не был пропитан кислотой, так же как и в пределах устья скважины, осаждения сульфидов мышьяка обнаружено не было. Подобный ход сульфидообразования необъясним с позиций хлоридных форм переноса металлов в растворах совместно с сульфидной серой.

Подводя итоги вышеизложенному, следует сказать, что полученные данные хорошо совпадают с диаграммами и физико-химическими параметрами гидротермальных систем, полученными на материалах термодинамических расчетов моделей гидротерм первично щелочного состава. Это свидетельствует, на наш взгляд, в пользу того, что измеряемые параметры у поверхности характеризуют не вырожденные и смешанные гидротермы, а первичные частично разбавленные рудоносные гидротермы, поступающие из глубоких горизонтов.

Институт геологии и геофизики
Сибирского отделения Академии наук СССР
Новосибирск

Поступило
18 VIII 1971

Институт вулканологии
Дальневосточного научного центра Академии наук СССР
Петропавловск-Камчатский

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

¹ С. И. Набоко, С. Ф. Главатских, ДАН, 191, № 3 (1970). ² Н. А. Озерова, С. И. Набоко, В. И. Виноградов, Геология и геофизика, № 1 (1971).