

УДК 550.42

ГЕОХИМИЯ

И. А. БОГУЩ, Н. В. ВЕСЕЛОВСКИЙ, Г. С. КОНОВАЛОВ, А. Л. РАБИНОВИЧ

ВАРИАЦИИ ИЗОТОПНОГО СОСТАВА СЕРЫ СУЛЬФАТОВ ЗОНЫ ОКИСЛЕНИЯ ХУДЕССКОГО МЕДНОКОЛЧЕДАННОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

(Представлено академиком В. И. Смирновым 24 IV 1972)

Худесское месторождение, расположенное в высокогорной части Передового хребта Северного Кавказа, является типичным медноколчеданным месторождением и представляет собой благоприятный объект для исследования в природных условиях вариаций изотопного состава серы при переходе сульфид — сульфат в зоне окисления колчеданных руд.

Главная залежь Худесского месторождения (рис. 1) имеет крутое падение и залегает согласно с рудовмещающими вулканитами. Линзовидное тело массивных руд сопровождается со стороны лежачего бока пиритизированными кварц-хлоритовыми и кварц-серицит-хлоритовыми метасоматитами. Массивные руды на 85—98% представлены пиритом, подчиненное

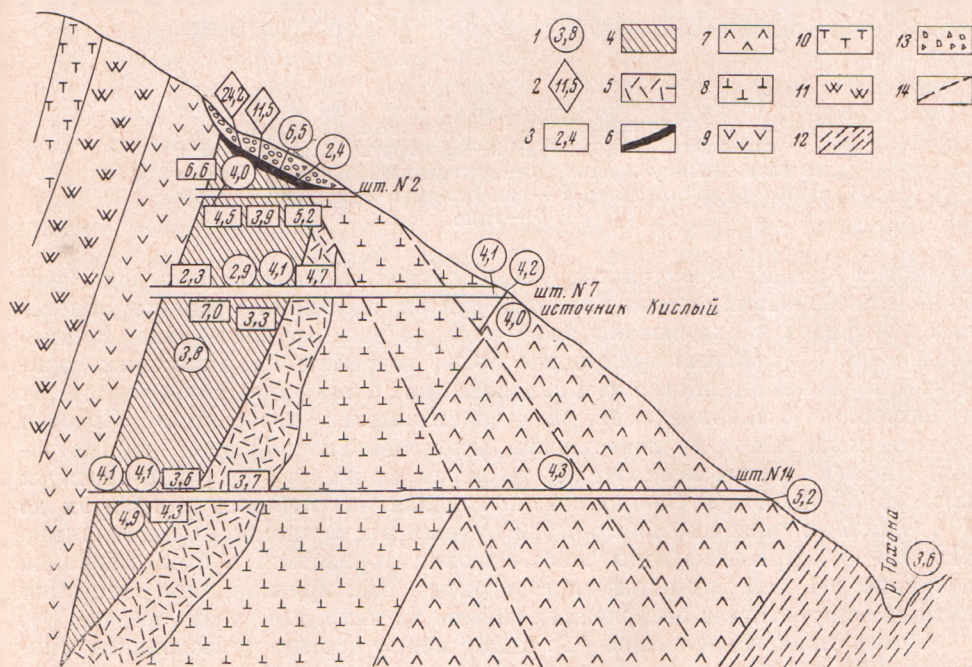


Рис. 1. Разрез главной рудной залежи месторождения. 1—3 — изотопный состав серы ($+ \delta S^{34}$, ‰) сульфатов (1), самородной серы (2), рудных сульфидов (3); 4 — массивные руды; 5 — пиритизированные метасоматиты; 6 — железная шляпа; 7 — андезит-базальтовые порфиры (спилиты); 8 — лавобрекчии андезитовых порфиров; 9 — андезитовые порфиры; 10 — туфы и туфобрекчии; 11 — андезит-дацитовые порфиры; 12 — филлитовидные сланцы; 13 — делювиальные отложения; 14 — тектонические нарушения

значение имеют халькопирит и сфалерит. Верхняя часть залежи слабо эродирована и перекрыта чехлом рыхлых делювиальных отложений. Под делювием (горизонт штольни № 2) в условиях высокогорной вечной мерзлоты наблюдается маломощная (0,5–1,5 м) железная шляпа, в основании которой на массивных рудах залегает прерывистый прослой баритовой сыпучки с редкими гнездами самородной серы. На стенках штольни № 2 широко распространены патечные и кристаллические агрегаты гипергенных сульфатов (мелантерит $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, халькантит $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$, пизанит $(\text{Fe, Cu})\text{SO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$).

Своеобразие гидрогеологической обстановки Худесского месторождения заключается в том, что рудные тела целиком располагаются выше местно-

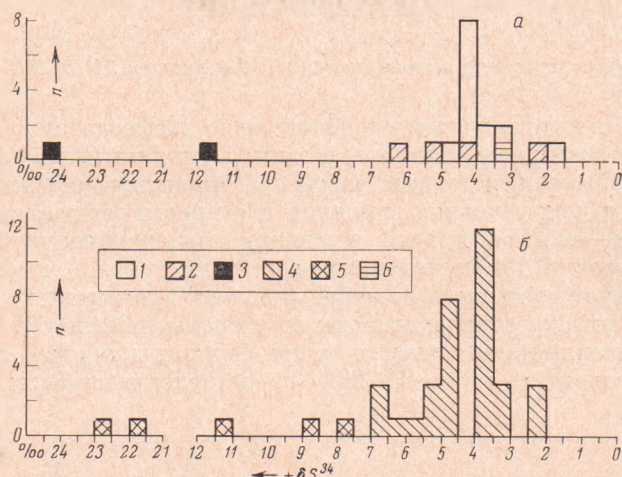


Рис. 2. Гистограмма изотопного состава серы (δS^{34}) сульфатов (а) и сульфидов (б) Худесского месторождения. 1 — сульфаты рудных вод; 2 — сульфаты, осажденные в естественных условиях; 3 — гипогенный барит; 4 — сульфиды рудного тела; 5 — гипергенная самородная сера; 6 — гипс

го базиса эрозии, образуемого ручьем Тохана. Поверхностные воды свободно просачиваются через Главную залежь, вызывают процессы окисления сульфидов и охватывают значительную часть рудного тела. Рудные воды — это сульфатные трещинные воды, вскрытые на различных горизонтах горными выработками и скважинами. Дебит рудных вод зависит от атмосферных осадков и подвержен значительным колебаниям. Имеется естественный выход на поверхность малоизмененных рудных вод (источник Кислый). Воды прозрачные; температура их на верхних горизонтах низкая, 0,5–5,0°, постепенно повышающаяся на глубоких горизонтах до 12°. Одной из главных особенностей рудных вод является малая величина рН (1,6–5). При этом воды более высоких горизонтов имеют меньшую величину рН, чем воды низких горизонтов. Как правило, минерализация кислых вод достигает нескольких граммов на литр, т. е. очень высока (⁴).

Сумма тяжелых металлов (Cu и Zn) может достигать нескольких миллиграммов в литре, а содержание железа — сотен миллиграммов. Фактически эти воды представляют собой раствор сульфатов железа, в которых сульфатных ионов содержится 43–49%-экв., а сумма $\text{Fe}^{3+} + \text{Fe}^{2+}$ составляет 30–40%-экв. Химический состав рудных вод формируется в результате окисления сульфидов кислородом воздуха, привносимого в рудное тело инфильтрационными водами.

Выходы на поверхность рудных вод сопровождаются шлейфом бурых гидроокислов железа, покрывающих аллювиально-делювиальные отложе-

ния ручьев Кислого, Голубого и Тохана. Гидроокислы железа содержат примесь ярозита, а в источниках ручья Кислого периодически появляются растворимые налеты квасцов.

Попадая в рудовмещающие вулканиты, кислые рудные воды постепенно нейтрализуются. Иногда этот процесс сопровождается образованием гипса в трещинах, выполненных карбонатом.

Сведения об изотопном составе серы и ее соединениях в зоне окисления сульфидных месторождений малочисленны (¹⁻³, ⁶) и не однозначны. В одних случаях при окислении не обнаруживается изменения изотопного состава серы исходного сульфида и вторичного сульфата, в других случаях изменение это заметно.

Нами был отобран ряд проб, позволяющих проследить вариации изотопов серы в ряду сульфид — сульфат-ион — сульфат. Измерения изотопного состава серы производились на масс-спектрометре МИ-1305 с использованием в качестве основного стандарта серы метеоритного троилита ($S^{32}/S^{34} = 22,22$), при точности измерений $\pm 0,5\%$. Изотопный состав серы сульфат-иона рудных вод определялся в пробах, отобранных в местах просачивания вод в рудном теле (штольни №№ 7 и 14), в подземных рудных скважинах, при выходе рудных вод на поверхность и в водах ручья Тохана (см. рис. 1). В штольне № 2 были опробованы натечные сульфаты и самородная сера. На поверхности отбирались пробы натечных сульфатов — смесь гидроокислов железа, квасцы. Получены данные изотопного состава серы 19 гипергенных сульфатных новообразований. Для сравнения использованы результаты изотопных анализов S^{38} гипогенных сульфидных минералов Худесского месторождения по сведениям авторов и Н. С. Скрипченко (⁵).

Полученные результаты представлены в виде гистограммы (рис. 2). Сера сульфидов массивных и прожилково-вкрапленных руд характеризуется узким интервалом величин δS^{34} , $2-7\%$, с максимумом значений $3,5-5,0\%$. Величины δS^{34} гипергенных сульфитов целиком совпадают с изотопным составом серы сульфидов и дают максимум величин δS^{34} с теми же значениями, что и у сульфидов. При этом следует подчеркнуть, что ранний этап окисления сульфидов, представленный сульфат-ионом рудных вод, показывает отсутствие изотопного фракционирования серы и полное соответствие δS^{34} серы сульфат-иона и сульфидов. Величины δS^{34} поздних сульфатов (ярозит, квасцы, гипс), отлагавшихся на поверхности и в трещинах горных пород, обнаруживают больший разброс значений δS^{34} , не выходящий, однако, за пределы колебаний δS^{34} сульфидов.

Обогащение по S^{34} характерно для гипогенного барита, величина δS^{34} которого меняется от $7,7$ до $22,8\%$, а также для самородной серы: $11,5-24,2\%$. Оба эти минерала совместно присутствуют в зоне выщелачивания.

Результаты изотопных исследований указывают на отсутствие заметного фракционирования изотопов серы ряда сульфид — сульфат-ион-сульфат зоны окисления сульфидного месторождения в условиях относительно низких температур и пониженной активности биохимических процессов.

Поступило
19 IV 1972

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ R. W. Boyle, R. K. Wanless, R. D. Stevens, *Econ. Geol.*, **65**, № 1 (1970).
² В. И. Виноградов, *Вопросы геохимии*, Изд. АН СССР, 1963. ³ Е. Дешоу, В сборн. Структурная геология рудных месторождений Канады, М., 1964. ⁴ П. П. Куцева, Г. С. Коновалов и др., *Гидрохимические материалы*, **44**, Л., 1968.
⁵ Н. С. Скрипченко, Н. В. Веселовский, А. П. Алексеев, *Изв. АН СССР, сер. геол.*, № 5 (1963). ⁶ Ф. В. Чухров, Л. П. Ермилова, В. И. Виноградов, *Изотопы серы и вопросы рудообразования*, «Наука», 1967.