

УДК 550.42 : 549.324.31 : 546.22

ГЕОХИМИЯ

Д. А. МАЛАХОВ

**ИЗОТОПНАЯ ЗОНАЛЬНОСТЬ СЕРЫ ПИРИТОВ
НА МЕДНОКОЛЧЕДАНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЯХ
МАКАНСКОГО РУДНОГО ПОЛЯ
(ЮЖНЫЙ УРАЛ)**

(Представлено академиком В. И. Смирновым 9 I 1975)

Месторождения Маканского рудного поля располагаются в южной части западного крыла Магнитогорского мегасинклинория. В геологическом строении поля принимают участие верхнесилурийские вулканогенно-осадочные образования баймак-бурибаевской свиты, представленные эффузивами и пирокластами андезито-базальтового (внизу) и андезито-дацитового состава (вверху), прорванными дайками и субвулканическими телами кислого и основного состава. Рудные тела представлены преимущественно согласными телами, приуроченными к узкому (200–230 м) горизонту, расположенному в основании андезито-дацитовой толщи.

На месторождениях и рудопрооявлениях рудного поля нами выделяются две группы сульфидсодержащих ассоциаций — сингенетическая и эпигенетическая. Они образуются в один этап и синхронны формированию пород рудовмещающего горизонта (¹). Группу ранних сингенетических пиритов образуют пириты из пирит-серицит-кварцевой и пирит-хлорит-кварцевой ассоциаций, а также пириты метаколлоидных руд. Во вторую входят эпигенетические пириты из халькопирит-пирит-кварцевых прожилков и кристаллически-зернистых руд.

В пределах рудного поля были отобраны из 23 скважин в 9 поперечных разрезах 172 пробы сульфидов, в том числе 150 пирита и 22 халькопирита. Было произведено 45 определений $\delta^{34}\text{S}$ (отклонение от толеитового стандарта) пиритов из пирит-серицит-кварцевой и пирит-хлорит-кварцевой ассоциаций, 19 из метаколлоидных руд, 50 поздних пиритов из халькопирит-пирит-кварцевых прожилков и 31 анализ пиритов из прожилково-вкрапленных и кристаллически-зернистых сплошных руд гидротермального, псевдогидротермального и метаморфического генезиса. Кроме того, было произведено 11 определений $\delta^{34}\text{S}$ халькопиритов из метаколлоидных руд и 11 из халькопирит-пирит-кварцевых прожилков и кристаллически-зернистых руд, 5 пиритов из пострудных нарушений. Далее, при обсуждении результатов были использованы опубликованные 106 определений $\delta^{34}\text{S}$ пиритов (разрез № 63) из Октябрьского и Ташкулинского месторождений (²).

Таблица 1

$\delta^{34}\text{S}$ пиритов из месторождений Маканского рудного поля (‰)

Месторождение, рудопрооявление	Число опред.	Пределы колебаний	Диапазон
Макаnsкое	84	от +5,1 до -5,2	10,3
Южномаканское, Новое и др.	35	от +16,2 до -5,0	21,2
Октябрьское	68	от +14,1 до -4,4	18,5
Ташкулинское	68	от +5,7 до -5,9	11,6

Таблица 2

$\delta^{34}\text{S}$ ранних (А) и поздних (Б) пиритов и сосуществующих с ними халькопиритов из крапленых и прожилковых ассоциаций и рудных тел (месторождения Маканского рудного поля)

	Месторождение, рудопроявление	Сульфид	Число опред.	$\delta^{34}\text{S}$, ‰		Диапазон
				пределы колебаний	средн.	

А. Сульфиды из вмещающих пород лежащего бока рудных тел и метаколлоидные пириты из колчеданных залежей

Пирит-серицит-кварцевая ассоциация	Маканское Южномаканское, Новое	Пирит »	24 10	от +1,1 до -5,2 от 0,0 до -5,0	-2,0 -4,4	6,3 5,0
					ср. -2,1	ср. 6,3
Пирит-хлорит-кварцевая ассоциация	Маканское Южномаканское	» »	7 1	от -0,8 до -4,0 —	-2,2 -2,0	3,2 —
					ср. -2,2	ср. 3,2
Сульфиды метаколлоидных руд	Маканское Южномаканское, Новое и др.	» »	13 6	от 0,0 до -3,9 от +2,4 до -3,6	-2,1 -1,9	3,9 6,0
					ср. -2,0	ср. 6,3
	Маканское Южномаканское, Новое и др.	Халькопирит »	7 4	от +2,6 до -3,7 от 0,9 до -2,9	-0,1 -1,3	6,3 3,8
					ср. -0,6	ср. 6,3

Б. Сульфиды из прожилков и кристаллически-зернистых руд (метаколлоидные пириты отсутствуют или слабо проявлены)

Халькопирит-пирит-кварцевая прожилковая ассоциация	Маканское Южномаканское, Новое Октябрьское	Пирит » »	20 10 10	от +4,6 до 0,0 от +5,0 до -2,0 от +6,0 до +1,2	+1,9 +1,8 +3,2	4,6 7,0 4,8
					ср. +2,2	ср. 8,0
Кристаллически-зернистые пиритовые руды с халькопиритом и сфалеритом	Маканское Южномаканское, Новое и др.	» »	18 5	от +5,1 до -1,4 от +16,1 до +0,9	+2,3 +4,7	6,5 15,3
	Маканское Южномаканское, Новое и др.	Халькопирит »	6 9 2	от +10,1 до -2,9 от 3,3 до -3,8 от +4,3 до +3,3	+2,7 +2,7 +3,8	13,0 7,1 1,0
					ср. +2,6	ср. 19,
					ср. +0,6	ср. 8,1

Широкий диапазон вариаций $\delta^{34}\text{S}$ пиритов (см. табл. 1) предполагает не только участие мантийной серы (около 97% встречающихся значений $\delta^{34}\text{S}$ лежит в интервале от +7,0 до -6,0‰), но и заимствование ее другого источника. Тот факт, что значения, не типичные для глубинной серы, лежат в области положительных значений по отношению к толеит

вому стандарту, указывает на возможность заимствования серы сульфатного типа.

Для решения этого вопроса были вычислены и сравнены диапазоны вариаций и средние значения $\delta^{34}\text{S}$ пиритов из обеих генетических групп (табл. 2).

Одинаковые средние величины $\delta^{34}\text{S}$ ранних вкрапленных пиритов подрудной толщи и метакolloидных хемогенно-осадочных пиритов из серноколчеданных руд (соответственно $-2,1$, $-2,2$ и $-2,0\text{‰}$) указывают на вулканический источник серы этих пиритов, изотопный состав которой и серы вулканических эманаций H_2S и SO_2 лежит в пределах от $-0,5$ до $-5,0\text{‰}$ (³, ⁴).

Более широкий диапазон вариаций (от $8,0$ до $19,0\text{‰}$) был отмечен для поздних пиритов. Почти одинаковые и близкие к толентовому стандарту средние значения $\delta^{34}\text{S}$ пиритов из халькопирит-пирит-кварцевых прожилков и кристаллически-зернистых руд (соответственно $+2,2$ и $+2,6\text{‰}$) и очень высокая встречаемость значений ниже $+8\text{‰}$ (около 93%) свидетельствуют о господстве в этих пиритах серы мантийного происхождения и о близких физико-химических условиях их кристаллизации (гидротермальная обстановка). Однако наличие изотопных данных, превышающих $+8\text{‰}$, указывает на существование другого источника. Геологическая обстановка формирования месторождений Маканского рудного поля (¹, ⁵) подсказывает возможное решение задачи. По нашему мнению, утяжеление изотопного состава серы в пиритах связано со смешением гидротермальных сульфидных вод с опускающимися сульфатными морскими водами вдоль рудоподводящих нарушений и путем инфильтрации их через толщу пирокластических и вулканогенно-осадочных пород.

Для проверки такой возможности рассмотрено распределение значений $\delta^{34}\text{S}$ пиритов в магистральном разрезе № 68 из пирит-серицит-кварцевой и халькопирит-пирит-кварцевой прожилковой ассоциации. Обе имеют в пределах рудного поля в породах андезито-базальтовой толщи от ее кровли (дно верхнесилурийского моря к моменту формирования нижних медноколчеданных залежей) до глубин $300-400$ м (глубины бурения) широкое распространение. Другим объектом исследования явились пириты из рудных тел, залегающих на разных высотных уровнях рудомещающего горизонта.

В результате было установлено закономерное обогащение с глубиной ранних и поздних пиритов легким изотопом серы (табл. 3). Так, для Октябрьского месторождения оно выражается для поздних пиритов из халькопирит-пирит-кварцевых прожилков в диапазоне 400 м значением $\delta^{34}\text{S}+1,7\text{‰}$, для месторождений Маканской группы $-1,2\text{‰}$. Для ранних пиритов этой группы месторождений $\delta^{34}\text{S}=+0,3\text{‰}$. Такая же закономерность установлена и в разрезе № 63, располагающемся к северу от № 68.

Таблица 3

Средние значения $\delta^{34}\text{S}$ пиритов из пирит-серицит-кварцевой и халькопирит-пирит-кварцевой ассоциаций месторождений и рудопроявлений Маканского рудного поля (андезито-базальтовая толща)

Глубины	Пирит-серицит-кварцевая ассоциация	Халькопирит-пирит-кварцевая прожилковая ассоциация	
	Маканская группа		Октябрьское месторождение (поздние пириты)
	ранние пириты	поздние пириты	
От кровли до 100 м	$-2,1$ (9)	$+2,4$ (4)	$+3,9$ (1)
От 100 до 200 м	$-2,2$ (7)	$+2,0$ (3)	
От 200 до 300 м	$-2,4$ (2)	$+1,2$ (1)	$+3,3$ (7)
От 300 до 400 м	—	—	$+2,2$ (2)

Такая же картина была обнаружена в сульфидах из рудных тел, залегающих в пределах рудовмещающего горизонта на разных уровнях. Так, для метаколлоидных пиритов из колчеданных руд маканских месторождений обогащение легким изотопом серы составляло 0,4‰, для халькопиритов 3,1‰ (перепад глубин 150–200 м). Для пиритов из кристаллически-зернистых руд этих месторождений оно было 0,5‰, для халькопиритов 0,3‰ (см. табл. 4).

Таблица 4

$\delta^{34}\text{S}$ пиритов и халькопиритов из метаколлоидных и кристаллически-зернистых руд из верхних и нижних колчеданных тел рудовмещающего горизонта в группе маканских месторождений

Сульфид	Рудные залежи	$\delta^{34}\text{S}$ в метаколлоидных рудах				$\delta^{34}\text{S}$ в кристаллически-зернистых рудах			
		число опред.	пределы колебаний	средн.	диапазон	число опред.	пределы колебаний	средн.	диапазон
Пирит	Верхние	8	от -3,6 до 0,0	-2,1	3,6	9	от -1,4 до +5,1	+2,5	6,5
	Нижние	9	от -3,9 до -0,5	-2,5	3,4	9	от -1,3 до +4,6	+2,0	5,9
Халькопирит	Верхние	3	от +1,2 до +2,6	+1,7	1,4	4	от -1,6 до +1,5	0,0	3,1
	Нижние	8	от -3,7 до +0,9	-1,4	4,6	5	от -3,8 до +1,6	-0,3	5,4

Механизм формирования установленной изотопной зональности, которая проявляется одинаково, но с различной интенсивностью в области глубоко проникающих зон нарушений (халькопирит-пиритово-кварцевые прожилки) и в области пирокластических пористых пород (пирит-серпигит-кварцевая ассоциация), можно объяснить следующим образом. По мере опускания морских сульфатных вод концентрация растворенного в них сульфата уменьшалась вследствие вхождения сульфатной серы в кристаллические пириты, тем самым уменьшалось и количество тяжелого изотопа серы в растворе. Соответственно снижалось отношение изотопов $^{34}\text{S} : ^{32}\text{S}$ в пиритах, т. е. изотопный состав серы должен был с глубиной обогащаться легким изотопом серы. По-видимому, аналогичная изотопная зональность серы пиритов будет характерна для эксталяционно-осадочных колчеданных месторождений, геологические условия формирования которых сходны, — они освещены в работах В. И. Смирнова (⁶), С. Н. Иванова (⁷), Н. С. Скрипченко (⁸), Г. К. Штрауса, Й. Маделя (⁹) и многих других исследователей.

Поступило
6 I 1975

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ А. А. Малахов, В. В. Воробьев и др., Геол. рудн. месторожд., № 3 (1974).
- ² А. А. Малахов, Е. А. Денисенко и др., Зап. Всесоюз. минералогич. общ., т. 102, в. 1 (1973).
- ³ H. G. Thode, Studies of Anal. Geochemistry, Toronto, 1965.
- ⁴ M. L. Jensen, Econ. Geol., v. 54 (1959).
- ⁵ А. А. Малахов и др., Геохимия, № 1 (1974).
- ⁶ В. И. Смирнов, Генезис эндогенных рудных месторождений, «Недра», 1968.
- ⁷ С. Н. Иванов, Вопросы геологии и происхождения колчеданных руд Урала, Свердловск, 1959.
- ⁸ Н. С. Скрипченко, Гидротермально-осадочные сульфидные руды базальтоидных формаций, «Недра», 1972.
- ⁹ G. K. Strauss, J. Madel, Geol. Rundsch., B. 63, № 1 (1974).