

## РАСПРОСТРАНЕНИЕ СУРЬМЫ В ПОДЗЕМНЫХ ВОДАХ

Н. М. ШВАРЦЕВА

(Представлена проф. П. А. Удодовым)

Геохимия сурьмы плохо изучена. Среднее содержание ее в земной коре составляет  $4 \cdot 10^{-5}$  весовых %. Концентрируется она в сульфидных рудах. В природе сурьма встречается изредка в самородном виде. В своих химических соединениях она трех и пентавалентна. Главнейшими минералами сурьмы являются: валентинит, сенармонтит, сервантит, стиблит и антимонит. Чаще всего в природе встречаются соединения сурьмы с серою (антимонит). В своих соединениях она зачастую играет роль металла, а не металлоида. Сурьма образует сульфат,  $\text{Sb}(\text{SO}_4)_3$ , который неустойчив в воде и быстро гидролизует. Хлорид сурьмы также быстро гидролизует (Эммонс, 1935). Из химических свойств сурьмы важным является способность ее сульфида легко растворяться в водных растворах сульфидов щелочей, с образованием легко растворимого комплексного иона  $2(\text{SbS}_3)'''$  (Поярков, 1955).

Химические свойства сурьмы и ее соединений указывают на возможность присутствия их в водах сульфидных месторождений, что и впервые было подтверждено исследованиями В. Эммонса (1935) и С. С. Смирнова (1955). Так, в водах рудников, руды которых содержат много сурьмы в виде сульфида, встречалось очень немного сурьмы, обычно лишь в виде следов. Однако сурьма была установлена в кислых водах в Филиппсбурге в Бютт, Монтана и в некоторых других местах. По О. Вейгелю (Эммонс, 1935), растворимость сульфида сурьмы ( $\text{Sb}_2\text{S}_3$ ) в чистой воде при  $t=18^\circ$  равна  $5,2 \cdot 10^6$  моль на 1 л. Экспериментальные данные Кука по растворению антимонита в условиях, близких к условиям зоны окисления, показали, что из 1 г антимонита через 84 дня в воду переходит  $\text{SbO}_4$  до 0,0175 г. Скорость окисления в водно-воздушных условиях оказалась сравнительно большой (Эммонс, 1935).

Полевые наблюдения С. С. Смирнова (1955) указывают, что окисление антимонита в обычном типе ее руд (кварцево-антимонитовом) проходит гораздо медленнее по сравнению со случаем окисления антимонита, заключенного в сложных рудах. Поэтому антимонит в зоне

окисления может быть среднеустойчивым и малоустойчивым. Основные продукты, получаемые при окислении антимонита и других сурьмяных минералов, обладают значительной растворимостью (до тысячных долей грамма на 1 л воды), что говорит о заметной миграционной способности сурьмы в условиях зоны окисления.

Из всех главнейших соединений сурьмы, могущих возникать в зоне окисления, значительной растворимостью, по сравнению с окислами сурьмы, обладают щелочные соли сурьмяной кислоты. Так, С. С. Смирнов (1955) показал, что растворимость антимонита калия ( $K_2H_2Sb_2O_7$ ) определяется цифрой 27,4 г/л при 20°C и пирокантимонита натрия — 0,3 г/л при 12,3°C. Помимо переноса сурьмы в виде щелочных антимонитов может иметь значение и миграция в сильноокислых растворах в виде полисульфидов.

В его же работе констатируется факт, что в отдельных случаях наблюдалось несомненное переотложение сурьмы в окисленных рудах, и ее обнаруживали в единичных анализах рудничных вод.

В самых поверхностных частях зоны окисления кварцево-антимонитовых месторождений, С. С. Смирнов (1955) нередко наблюдал почти полное удаление сурьмы из рудной массы. По его мнению, в таких условиях можно ожидать широкого образования тонких суспензий и, возможно, даже коллоидных растворов. Он также предполагает, что иногда аналогичные явления могут происходить и в более глубоких частях зоны окисления.

Исходя из вышесказанного, можно предположить, что сурьма способна мигрировать в виде взвесей, тонких суспензий и коллоидов в водах зон окисления сульфидных месторождений.

А тот факт, что сурьма обнаружена в подземных водах до 3100 и 3900 мкг/л (Удодов и др., 1965; Мукимова, 1962<sub>2</sub>), подтверждает ее хорошую миграционную способность.

Впервые коэффициент миграции для сурьмы был подсчитан П. А. Удодовым (Удодов и др., 1962), который на примере подземных вод Сибири ее отнес ко 2-й группе по распространению с коэффициентом водной миграции  $A=0,9 \cdot 10^{-4}$ . Эта величина говорит о хорошей миграционной способности сурьмы, что позволяет ее отнести к первой группе — мигрирующих элементов. Д. С. Мукимова (1969<sub>1</sub>) приводит коэффициент водной миграции для речных вод Средней Азии  $A=0,4 \cdot 10^{-3}$ , который оказался выше, чем «А» для подземных вод.

В последние годы многими исследователями установлено присутствие сурьмы в поверхностных и подземных водах, в водах зон тектонических нарушений, в термальных источниках, в водах районов многолетней мерзлоты, в соленых подземных водах, а также в морской воде.

Для общего представления о распространении сурьмы в подземных водах приводится график (рис. 1), из которого видно, что между минерализацией и содержанием сурьмы нет ясно выраженной зависимости. Однако можно сказать, что в соленых водах, видимо, возможна значительная концентрация сурьмы. По этому рисунку можно предположить судить о фоновом содержании сурьмы в подземных водах, которое здесь отбивается по величине 5 мкг/л (верхняя граница фона).

О фоновом содержании сурьмы в подземных водах пока говорить не приходится из-за отсутствия данных. Однако мы имеем результаты исследований Д. С. Мукимовой (1969<sub>1</sub>), которая для речных вод Средней Азии приводит содержания сурьмы от 30 до 200 мкг/л с коэффициентом водной миграции  $A=0,4 \cdot 10^{-3}$ . Эти количественные характеристики говорят о том, что сурьма может встречаться в водах рек в значительных концентрациях и хорошо мигрировать. В подземных водах сурьма встречается довольно часто, особенно в районах зон минерализаций или известных нам месторождений.

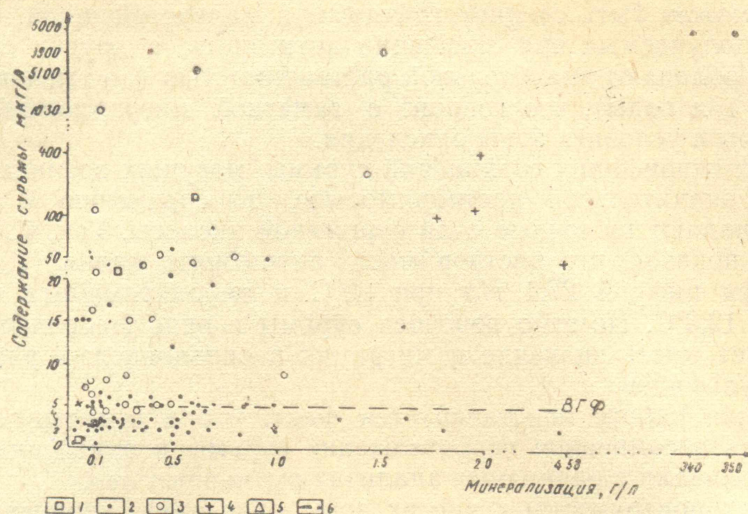


Рис. 1. Распространение сурьмы в природных водах.  
1 — поверхностные воды, 2 — грунтовые воды, 3 — рудничные воды, 4 — воды гидротерм, 5 — соленые воды, 6 — верхняя граница фона (вгф)

В течение ряда лет в районе с. Семилужки (Томская обл.) нами проводились гидрогеохимические исследования, которые подтвердили наличие сурьмяной зоны минерализации. В грунтовых водах этого участка, которые имеют минерализацию 0,1—0,5 г/л и характеризуются гидрокарбонатно-магниевым составом с рН 6,5—7,6, было зафиксировано до 30 мкг/л (иногда 50 мкг/л) сурьмы. В то время как в водах зон тектонических нарушений в этом районе работ сурьма обнаружена в количестве от 6 до 30 мкг/л (табл. 1). Сурьма обнаружена также в водах зоны вольфрамовой минерализации (Забайкалье) с содержанием 0,5—8,0 мкг/л, и в водах сурьмяной минерализации в количестве 2,7 мкг/л при рН 6,9 (Удодов и др., 1962). Из этих данных следует, что в водах зон сурьмяной и вольфрамовой минерализаций с рН вод от 6,6 до 6,9 сурьма присутствует в незначительных содержаниях (от 0,5 до 2,7, иногда до 30 и 50 мкг/л).

Как правило, в водах различных месторождений (медно-кобальтовых, сурьмяных и золоторудных) сурьма присутствует в количестве более 5,0 мкг/л. Так, на сурьмяном (Раздолинском) месторождении, по данным А. А. Лукина, сурьма обнаружена в водах почти повсеместно с содержанием от 40 до 90 мкг/л, а в ряде точек наблюдались увеличения содержаний до 126—127 мкг/л, иногда до 1030 мкг/л (табл. 1). В то же время на Саралинском золоторудном поле (Кузнецкий Алатау, В. Г. Иванов) встречаемость сурьмы достигает 55%, максимальное содержание 500 мкг/л среднее содержание 23 мкг/л. Величина потоков рассеяния для сурьмы здесь довольно значительная и достигает 1,5 км.

В последние годы рядом исследователей (Уайт, 1965; Смирнов, 1967; Озерова, 1968; Мукимова, 1969 и др.) было обнаружено присутствие сурьмы в термальных источниках. Так, в источнике Вайоминг (США, Йеллоустонский парк) сурьма обнаружена в количестве 100 мкг/л, а в источнике Стимбот (США, Невада)—400 мкг/л (Уайт, 1965). В водах термальных источников Камчатки и Курильских островов сурьма обнаружена от 150 до 400 мкг/л (Озерова, 1968 и др.).

Немаловажное значение имеет и тот факт, что сурьма обнаружена и в водах районов многолетнемерзлых пород. Ее содержания невелики. Так, в северо-западной части Сибирской платформы С. Л. Швар-

## Содержание сурьмы в подземных водах

Район исследований	Тип вод	М, г/л	pH	Содержание сурьмы, мкг/л	Литерат. источник
<b>Забайкалье</b>					
1. Талик	гидрокарбонатно-сульфатный	0,15	7,5	0,5	Удодов и др., 1962
2. Вольфрамовая минерализация	гидрокарбонатно-кальциевые	0,33	6,6	0,5	—«—
3. Капез в штольне		0,10	8,4	8,0	—«—
<b>Западные Саяны</b>					
4. Хараджувское медно-кобальтовое м-ние	гидрокарбонатно-магниевые-кальциевые	0,26	7,3	3,5	—«—
<b>Томский р-н</b>					
5. Сурьямая	гидрокарбонатно-магниевые	0,5	7,8	50,0	наши данные
6. Воды зоны тектоническ. нарушений	гидрокарбонатно-кальциевые	0,8	7,0	30,0	—«—
<b>Томь-Яйское м-ние</b>					
7. Щербакская зона		0,60	7,2	3100,0	Удодов и др., 1965
<b>Енисейский край</b>					
8. Раздолинское сурьямяное м-ние капез	гидрокарбонатно-сульфатные	0,15	7,4	125,0	Лукин, 1961.
9. Капез руд вод	—«—	0,12	7,4	1030,0	—«—
<b>Средняя Азия</b>					
10. Родник, пойма р. Шахимер	сульфатно-гидрокарбонатные	0,95	8,4	50,0	Мукимова, 1969
11. Рудные воды	сульфатно-кальциевые		7,5	3900	—«—
<b>США</b>					
12. озеро Сёрлс		340—360	9,7	5000	Смирнов, 1967

цевым (1963, 1965) обнаружена сурьма в водах болот со средним содержанием 1,7 мкг/л в водах рыхлых образований—2,8 мкг/л и в водах коренных пород—3,6 мкг/л. В Забайкалье в районе таликовой многолетней мерзлоты сурьма обнаружена всего от 0,3 до 0,6 мкг/л (Удодов и др., 1962). В литературных источниках имеются единичные сведения с присутствием сурьмы в солевых подземных водах. В этом отношении интересны данные С. И. Смирнова (1967)—в подземных водах озера Сёрлс (Калифорния) обнаружена сурьма в количестве 5000 мкг/л. Воды этого озера имеют pH 9,7 и минерализацию 340—360 г/л. В данном случае, вероятно, сурьма в соленых водах со

щелочной реакцией способна образовывать устойчивые легкорастворимые комплексные соединения.

Несмотря на то, что сурьма в водах еще плохо изучена, можно, на основании приведенных данных, сделать следующие предварительные выводы:

1. Сурьма широко распространена в подземных водах.
2. Предположительная верхняя граница фона для пресных подземных вод — 5,0 мкг/л.
3. Сурьма может мигрировать в речных водах в значительных количествах.
4. Максимальные концентрации сурьмы наблюдаются не только в рудничных водах, но и в соленых подземных водах и в термальных источниках.
5. Сурьма способна образовывать водные потоки рассеяния вокруг сурьмяных и золоторудных (возможно и других) месторождений, что должно быть использовано при гидрогеохимических поисках.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Мукимова Д. С. Содержание ртути в некоторых реках Средней Азии. БНТИ, серия геология, методика поисков, № 1, 1969<sub>1</sub>.
2. Мукимова Д. С. Гидрогеохимические ореолы рассеяния сурьмяно-ртутных месторождений Средней Азии и их поисковое значение. Автореферат. Ташкент, 1969<sub>2</sub>.
3. Поярков В. Э. Ртуть и сурьма. Вып. 15, М., 1955.
4. Смирнов С. И. Рудоносный ли флюид был вскрыт глубокой скважиной в Южной Калифорнии? Бюлл. МОИП, отд. геол., № 3, 1967.
5. Смирнов С. С. Зоны окисления сульфидных месторождений. Изд. АН СССР, 1955.
6. Уайт Д. Е. Термальные воды вулканического происхождения. Сб. «Геохим. сов. пост. процессов», Изд. «Мир», 1965.
7. Удодов П. А., Онуфриенок И. П., Париллов Ю. П. Опыт гидрогеохимических исследований в Сибири. Изд. «Высшая школа», М., 1962.
8. Удодов П. А., Матусевич В. М., Григорьев Н. В. Гидрогеохимические поиски в условиях полузакрытых геологических структур Томь-Яйского междуречья. Изд. ТГУ, Томск, 1965.
9. Шварцев С. Л. Некоторые результаты исследований в условиях многолетней мерзлоты. Журн. «Геология рудных месторождений», 1963, № 2.
10. Шварцев С. Л. О гидрогеохимическом методе поисков в северных заболоченных районах. Журн. «Геология и геофизика», 1965, № 7. Изд. СО АН СССР, Новосибирск.
11. Эммонс В. Х. Вторичное обогащение рудных месторождений. М.—Л., ОНТИ, 1935.