

СУРЬМА В ПОДЗЕМНЫХ ВОДАХ НЕКОТОРЫХ ЗОЛОТОРУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ КУРАМИНСКОГО ХРЕБТА

В. Б. АДИЛОВ, Н. М. ШВАРЦЕВА, Д. ЛЯН

(Представлена профессором П. А. Удодовым)

На необходимость определения сурьмы при гидрогеохимических поисках впервые было указано П. А. Удодовым, И. П. Онуфриенком и Ю. С. Парилковым [4]. Ими были обнаружены водные потоки рассеяния этого элемента в пределах полиметаллических, вольфрамово-оловянных и медно-кобальтовых месторождений. В последующем повышенное содержание сурьмы (до 500 мкг/л) было обнаружено В. Г. Ивановым (личное сообщение) на Саралинском золоторудном поле (Кузнецкий Алатау), а К. М. Давлитгалиевой и И. Г. Дивеевым [1] — в пределах сульфидных месторождений Малого Каратау (до 90 мкг/л). Наиболее высокое содержание сурьмы (до 3900 мкг/л) приводится Д. С. Мукимовой для рудничных вод Кадамджайского сурьмяного рудного поля (Средняя Азия) и В. Н. Макаровым [2] для сурьмяных месторождений бассейна реки Индигирки, в рудничных водах которой содержание сурьмы достигает $1,5-1,6 \cdot 10^6$ мкг/л . Однако до сих пор характер распределения и особенности миграции сурьмы в подземных водах остаются слабо изученными. Это объясняется в значительной мере отсутствием до недавнего времени надежных методов анализа подземных вод. В то же время, исходя из общих геологических особенностей сурьмы как элемента, можно предполагать его высокую подвижность в подземных водах и образование широких водных потоков рассеяния [5]. Рассмотрение поведения сурьмы в водах с точки зрения использования ее в поисковых целях, несомненно, представляет интерес.

Гидрогеохимические исследования в пределах золоторудного месторождения Кочбулак были проведены В. Б. Адиловым в 1964 г., а на месторождениях Актурпак, Кургашинокан и Кальмакыр Н. М. Шварцевой и Д. Лян в 1969 г. Анализ сурьмы в водах проводился путем концентрирования ее с гидроокисью алюминия с последующим спектральным окончанием в проблемной геологической лаборатории ТПИ и амальгамно-полярографическим методом, разработанным Е. М. Мальковым в Центральной лаборатории Министерства геологии Узбекской ССР. Чувствительность этого метода составляет 0,1 мкг/л .

Исследованные месторождения расположены в пределах раскрытой водонапорной системы Кураминского хребта. Сильно расчлененный рельеф способствует проникновению инфильтрационных вод на значительную глубину и хорошей промываемости горных пород в области питания и создания напора. Инфильтрационные воды, богатые кислородом и углекислотой, обладают большой растворяющей способностью, что

благоприятствует процессам выщелачивания горных пород и выносу химических элементов за пределы профиля выветривания. Вместе с тем сухой аридный климат, относительно небольшое количество атмосферных осадков, почти полное их отсутствие в течение долгого летнего периода приводят к тому, что современное питание подземных вод месторождений происходит только на возвышенной обнаженной территории Кураминского хребта. Это подтверждается хотя бы тем фактом, что подземные воды по наблюдениям в штольнях имеют почти постоянный режим в течение всего года. Суммарный подземный сток в пределах месторождения Кочбулак определяется примерно в 5 л/сек., а Актурпак — 6 л/сек. Разгрузка подземных вод осуществляется по долинам рек и особенно по зонам тектонических нарушений. Воды зон тектонических разрывов обычно вскрываются штольнями, пройденными в пределах месторождений.

Подземные воды месторождений характеризуются повышенной общей минерализацией (до 3,0 г/л), сульфатным и реже сульфатно-гидрокарбонатно-натриево-кальциевым составом. Содержание сульфат-иона в этих водах велико и достигает 1377 мг/л. Кислые воды нигде не встречаются, рН изменяется от 6,9 до 7,8. В водах обнаружен широкий комплекс элементов с повышенным содержанием золота, мышьяка, сурьмы, а также свинца, меди, цинка и молибдена. Рассмотрим поведение сурьмы в водах каждого месторождения в отдельности.

Золоторудное месторождение Кочбулак расположено на северном склоне Кураминского хребта в междуречье Нишбаш-сая и Гуш-сая. В геологическом отношении оно приурочено к тектоническим разломам и трещинам, выполненным кварцем, баритом, кальцитом с сульфидами и золотом. Из рудовмещающих пород наиболее распространены мраморизованные и окварцованные известняки (D_1-C_1), андезитовые и дацитовые порфиры ($C_2-C_3^{ак}$, $C_{2-3}^{ак1}$), базальтовые конгломераты и агломеративные туфы ($C_{2-3}^{ак1}$) и др.

В минералогическом отношении руды месторождения Кочбулак представлены скоплениями пирита, блеклой руды, гематита, сфалерита, халькопирита, барита, кварца и карбонатов. Основными компонентами этого месторождения являются золото, цинк, свинец, медь и сурьма. Гипогенные минералы представлены гидрогематитом, пираргилитом, борнитом и ковеллином, которые образуют каемчатые микротекстуры. Среди рудных минералов встречаются сурьяносодержащие: бурнотит, джемсонит, плагионит, стибиллюционит и др. Эти минералы считаются средними по устойчивости, а их продукты окисления слаборастворимы. Тем не менее, видимо, эти минералы являются основным источником обогащения подземных вод сурьмой.

В районе месторождения были изучены воды близлежащих саев Акташ, Узук, Актурпак и Кочбулак и воды всех штолен. Всего было отобрано 68 проб, в 44 из которых обнаружена сурьма с содержанием от 1,5 до 42 мкг/л. Некоторые результаты этих исследований приведены в табл. 1, из которой видно, что подземные воды штолен отличаются повышенным содержанием сурьмы, мышьяка и золота. Максимальные ее значения характерны для подземных вод штолен. В водах поверхностных водотоков, не связанных с месторождением, содержание сурьмы достигает только 5 мкг/л. Исключение составляет сая Акташ, в водах которого сурьма обнаружена до 27 мкг/л. Это объясняется тем, что на протяжении всей длины река пересекает продольные тектонические нарушения, по которым происходит разгрузка подземных вод, связанных с месторождениями. Интересно отметить, что в отдельных точках опробования высокому содержанию сурьмы соответствуют максимальные содержа-

Таблица 1

Содержание сурьмы, золота и мышьяка в подземных водах месторождения Кочбулак

№ п/п	Характер водопункта	рН	SO ₄ , мг/л	Общая минерализация, г/л	Химический состав подземных вод	Содержание элементов, мг/л		
						Au	As	Sb
4	Штольня	6,9	не опр.	не опр.	не опр.	не опр.	21,0	21,0
13	»	не опр.	»	»	»	0,78	5,7	5,7
22	Сай	7,4	»	»	»	0,49	6,5	3,9
26	Штольня	не опр.	»	»	»	0,03	4,5	> 7,5
28	»	»	»	»	»	не опр.	4,2	42,2
29	»	»	402	0,8	SO ₄ HCO ₃ Ca Mg	2,66	15,0	15,0
33	»	»	793	1,6	SO ₄ Ca Mg	1,06	не опр.	21,0
37	Сай	7,0	805	1,9	SO ₄ Na Mg	0,24	6,0	10,0
55	»	6,5	1377	2,0	SO ₄ Ca Na Mg	не обн.	не опр.	7,0
56	Сай Акташ	не опр.	не опр.	не опр.	не опр.	не обн.	»	15,6
58	»	7,2	351	0,6	SO ₄ HCO ₃ Ca Na Mg	не обн.	9,0	27,0
Фоновые значения						0,1	2,0	2,6

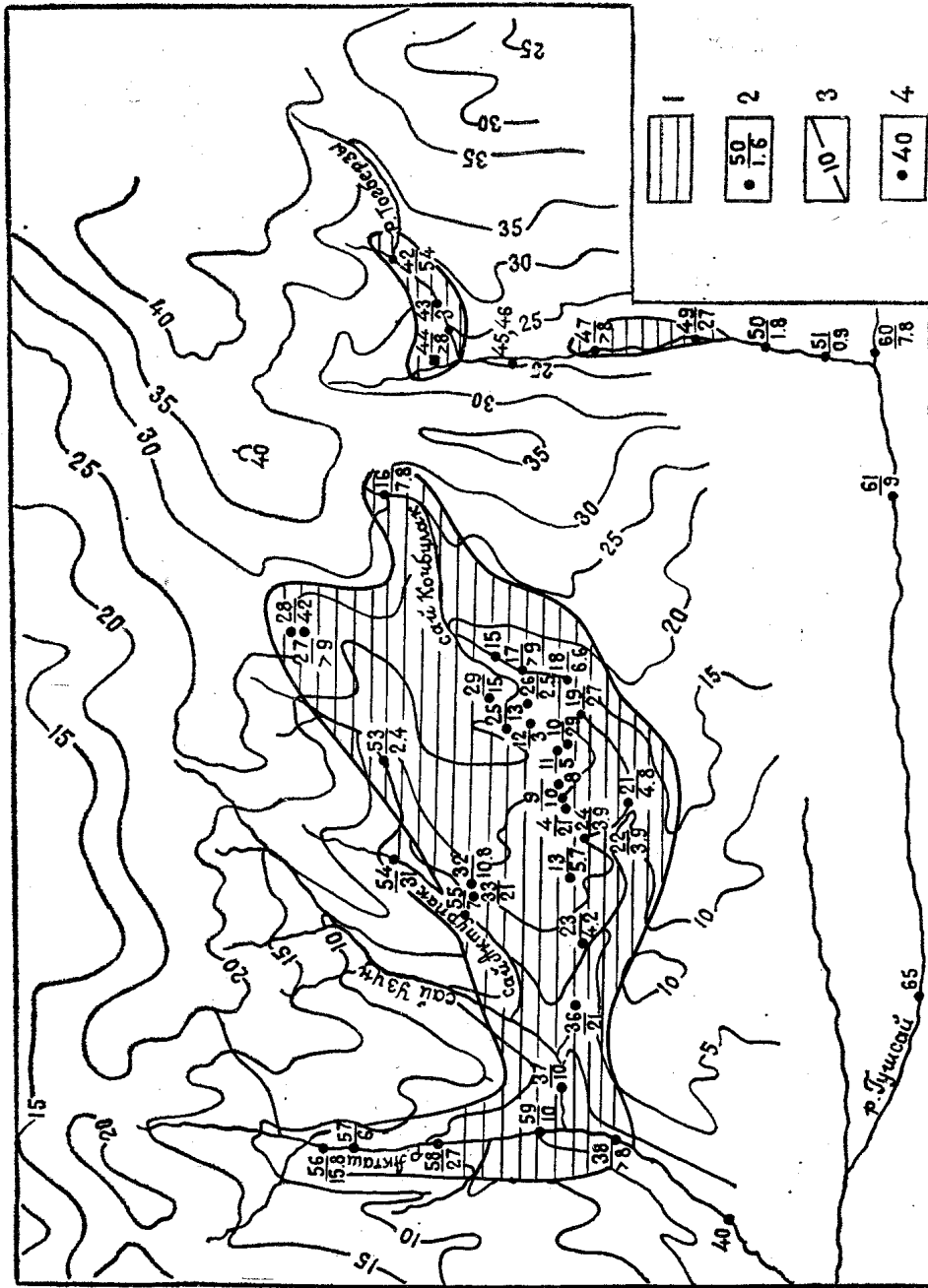


Рис. 1. Поток распространения сурьмы в природных водах золотосульфидных месторождений Кочбулак: 1 — поток распространения подземных вод с содержанием сурьмы более 2 мкг/л; 2 — точка опробования, числитель — номер точки, знаменатель — содержание элемента; 3 — условные горизонталы; 4 — содержание элемента в подземных водах менее 1 мкг/л

ния мышьяка и золота. Характер водного потока рассеяния сурьмы представлен на рис. 1, из которого видно, что сурьма на площади распространена повсеместно, а водные потоки образуют четкие границы на расстоянии более 500 м от рудного тела. Водные потоки сурьмы и мышьяка на данном месторождении в общих чертах совпадают, причем размеры водного потока по сурьме несколько больше, чем по мышьяку.

Таким образом, при фоне 2,6 *мкг/л* максимальное содержание сурьмы в водах месторождения достигает 42 *мкг/л*, а содержание, равное 15—20 *мкг/л*, встречается повсеместно, т. е. коэффициент контрастности, как правило, больше 5—10. Наблюдаемые водные потоки рассеяния носят контрастный характер и могут быть выявлены в процессе гидрогеохимической съемки.

Золоторудное месторождение Актурпак расположено в долине рек Накпай и его правого притока Актурпаксай. В геологическом отношении оно приурочено к кварц-пиритовым жилам, залегающим в девонских известняках, грано-диорит-порфирах, сиенит-диоритах и андезито-дацитовых порфирах. Подчиненное значение среди рудных минералов имеют халькопирит, галенит и сфалерит. Ведущую роль в обводнении месторождения играют воды зон тектонических нарушений, получающие питание как в результате регионального подземного стока, так и за счет вышележащих водоносных горизонтов.

В процессе гидрогеохимической съемки в водах обнаружен широкий комплекс элементов, который аналогичен для вод месторождения Кочбулак. Из элементов золоторудных месторождений, наблюдаемых в данном случае, ведущее место принадлежит сурьме, серебру и молибдену. Некоторые результаты гидрогеохимического опробования представлены в табл. 2, из которой видно, что подземные воды этого месторождения имеют нейтральную и слабощелочную среду, окислительно-восстановительную обстановку, содержание сульфат-иона, как правило, превышает 300 *мг/л*. Наибольшее содержание иона SO_4 обнаружено в водах зон тектонических нарушений (до 1155 *мг/л*).

Сурьма в подземных водах месторождения распространена повсеместно. В основном она обнаружена в низких значениях от 1,2 до 3,8 *мкг/л* и лишь отдельные точки содержат ее выше 15 *мкг/л*. Какой-либо зависимости содержания сурьмы от pH, SO_4 и Eh установить не удалось. В то же время наблюдается четкая зависимость содержания сурьмы от характера питания подземных вод. Так, в южной части месторождения Актурпак наблюдается подпитывание трещинно-грунтовых и трещинно-жильных вод водами аллювиальных отложений долины реки Накпай. В результате такого смешения здесь формируются смешанные гидрокарбонатно-сульфатные или сульфатно-гидрокарбонатные воды с минерализацией до 1 *г/л*. В них сурьма обнаружена в количестве от 1,3 до 3,5 *мкг/л*, серебро — до 0,3 *мкг/л* и молибден — до 4 *мкг/л*. Более минерализованные сульфатные воды распространены в северной части месторождения. Чаше всего эти воды приурочены к зонам тектонических нарушений и содержат максимальные количества сурьмы (15—26 *мкг/л*) и серебра (7,5—34 *мкг/л*). В то же время воды Лимонитового и Северного разломов, вскрытые штольней, сурьмы не содержат. Объясняется это тем, что питание этих вод происходит за счет вышележащих водоносных горизонтов, непосредственно с месторождением не связанных. Сурьма также не обнаружена и в источниках, удаленных на 1,5—2,2 *км* от месторождения. Водные потоки рассеяния сурьмы на данном месторождении детально проследить не удалось, тем не менее по имеющимся данным можно предположить, что длина их не превышает 1,5 *км*. В пределах месторождения Актурпак сурьма, серебро, молибден и золото распространены в водах в количествах, значительно превы-

Таблица 2

Содержание сурьмы, золота, серебра и молибдена в водах золоторудного месторождения Акурралак

번호 №	Характер водопункта	pH	Eh	SO ₄ , мг/л	Общая минер., г/л	Химический состав вод	Содержание элементов, мкг/л			
							Ag	Au	Sb	Mo
958	Источник на месторожде- нии	7,2		340	0,76	SO ₄ HCO ₃ Ca	0,18	не опр.	1,6	не опр.
959	Штольня, ка- пейж	7,2		не опр.	не опр.	не опр.	0,33	не опр.	26,0	3,0
1114	Источник в 2,2 км от ме- сторождения	7,1		»	0,64	SO ₄ HCO ₃ Ca	не опр.	0,15	не обн.	2,0
1115	Источник в 1,5 км от ме- сторождения	7,6		»	не опр.	не опр.	не опр.	не опр.	не обн.	4,0
1201	Штольня, ка- пейж	7,4		136	0,40	HCO ₃ SO ₄ Na Ca	0,30	0,32	3,8	4,0
1202	Штольня, ис- точник	7,2	0,01	354	0,77	SO ₄ HCO ₃ Na Ca	0,20	0,09	2,2	сл
1203	Штольня, ис- точник	7,0	0,15	не опр.	не опр.	не опр.	0,40	0,20	1,2	сл
1204	Штольня сме- шанная	7,5		409	0,95	SO ₄ Ca Na	0,51	0,24	1,3	13,0
1205	Штольня, зо- на нарушения	7,2		1155	1,64	SO ₄ Ca Mg	0,42	1,17	20,0	2,5
1207	Штольня, раз- лом Северный	7,0		1082	1,76	SO ₄ Ca Na	0,39	не опр.	не обн.	3,0
1208	Штольня сме- шанная	8,2		614	1,15	SO ₄ Na Ca	7,50	0,60	2,2	8,0
1210	Штольня, раз- лом Лимонито- вый	7,5	0,1	499	0,80	SO ₄ Ca Mg Na	0,28	не обн.	не обн.	16,0
Фоновые значения							0,15	0,1	2,0	3,3

Таблица 3

Содержание сурьмы, молибдена и золота в подземных водах месторождений Кургашинокан и Кальмакыр

Наименов- месторож- дений	№ проб	Характер водопункта	pH	SO ₄ , мг/л	Общая минерали- зация, г/л	Химический состав вод	Содержание элементов, мкг/л		
							Sb	Mo	Au
Наименов- месторож- дений	1144	Карьер, зона окисления	7,7	275	1,45	SO ₄ HCO ₃ Na Ca	3,4	5,0	0,02
	1153	»	7,8	595	1,17	»	0,8	2,5	0,12
	1156	»	7,7	1155	1,09	»	5,3	0,095	не обн.
	1158	Зона окисле- ния Центр.							
	1160	разлом	7,8	не опр.	1,59	»	6,0	12,0	0,08
	1161	Карьер	7,9	923	1,63	SO ₄ Cl Na Mg	18,0	не обн.	0,096
Кургашинокан	1162	Воды зоны неок. руды	7,0	1055	2,01	SO ₄ Cl Mg Na	21,0	0,11	0,04
	1163	»	7,2	825	1,43	SO ₄ Na Ca	19,0	20,0	0,12
	1163	»	7,2	923	1,73	»	10,0	не обн.	0,24
	1164	»	7,1	1132	2,06	SO ₄ Mg Ca Na	25,0	0,09	0,28
Кальма- кыр	1147	Карьер	не опр.	не опр.	не опр.	не опр.	9,0	0,11	0,32
	1148	»	7,5	1615	2,61	SO ₄ Mg Na Ca	6,8	0,12	не опр.
	1149	»	не опр.	не опр.	не опр.	не опр.	3,7	не опр.	не обн.
	1150	»	7,1	1185	1,91	SO ₄ Na Ca Mg	0,5	не опр.	не обн.
Фоновые значения							<2,0	3,3	0,1

шающих фоновое содержание. Замечено также, что наличие золота в воде всегда сопровождается присутствием сурьмы, и ее содержание, как правило, превышает величину золота в 5—10 раз и выше. Из всего сказанного можно заключить, что сурьма образует достаточно широкие водные потоки рассеяния и может быть использована в качестве элементного индикатора при поисках золоторудных месторождений гидрогеохимическим методом.

С целью выяснения присутствия сурьмы в водах других типов месторождений нами были проведены исследования на месторождении Кургашинокан (полиметаллическое с золотом) и месторождении Кальмакыр (медно-молибденовое с золотом). Некоторые результаты анализов проб воды приведены в табл. 3, из которой видно, что сурьма в количестве от 0,8 до 6 *мкг/л* присутствует в водах зоны окисления, которые имеют слабощелочную реакцию и сульфатно-гидрокарбонатно-натриево-кальциевый состав. В зоне неокисленных руд распространены воды смешанного состава, из которых основными являются сульфатно-натриево-кальциевые и сульфатно-хлоридно-магниевые-натриевые. Содержание сурьмы в этих водах в 5—10 раз выше, чем в водах окисленной зоны.

В пределах месторождения Кальмакыр были изучены воды, отобранные на различных горизонтах карьера, и во всех из них обнаружена сурьма в количестве от 0,5 до 9 *мкг/л*, т. е. большей частью выше фоновых значений. При этом содержание сурьмы в водах часто выше, чем молибдена или золота.

Из всего сказанного следует, что сурьма широко распространена в подземных водах изученных золоторудных, полиметаллических и медно-молибденовых с золотом месторождений. В условиях Кураминского хребта она образует водные потоки рассеяния, длина которых изменяется от 0,5 до 1,5 *км*. Все это позволяет сделать вывод о целесообразности использования сурьмы в качестве критерия при поисках указанных месторождений гидрогеохимическим методом. Кроме того, следует подчеркнуть тот факт, что наблюдаемые широкие водные потоки рассеяния сурьмы формируются в условиях нейтральной и слабощелочной среды, что является благоприятным фактором для использования этого элемента при поисках глубоко залегающих рудных тел, в пределах которых не формируется зона окисления.

ЛИТЕРАТУРА

1. К. М. Давлитгалиева, И. Г. Дивеев. Гидрогеохимические поисковые показатели полезных ископаемых Мугоджар и Малого Каратау. В кн.: «Гидрохимия и гидротермия подземных вод Казахстана». Алма-Ата, «Наука», 1969.
2. В. Н. Макаров. Гидрогеохимия сурьмяных месторождений бассейна реки Индигирки. В тезисах: Геохимические поиски в областях криогенеза. Л., 1970.
3. С. С. Смирнов. Зона окисления сульфидных месторождений. Изд. АН СССР, 1955.
4. П. А. Удодов, И. П. Онуфриенок, Ю. С. Париков. Опыт гидрогеохимических исследований в Сибири. М., «Высшая школа», 1962.
5. П. А. Удодов, С. Л. Шварцев. О некоторых закономерностях миграции микрокомпонентов в подземных водах гипергенеза. Труды межведомственной конференции по гидрогеохимическим и палеогидрогеологическим методам исследований в целях поисков месторождений полезных ископаемых. Изд. ТГУ, 1969.