

### ГИДРОГЕОХИМИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА СЕМИЛУЖЕНСКОГО РУДОПРОЯВЛЕНИЯ

П. А. УДОДОВ, Н. М. ШВАРЦЕВА, А. И. СКОГОРЕВ

Гидрогеохимический метод поисков полезных ископаемых все шире входит в комплекс не только геолого-съёмочных работ, но и поисково-разведочных, потому что он отличается наибольшей глубинностью из всех геохимических методов.

Летом в 1968 и 70 гг. на Семилуженском участке были проведены детальные гидрохимические исследования отрядом Томского политехнического института совместно с Томской комплексной экспедицией с целью выявления аномальных водных потоков рассеяния сурьмы и ртути, на основе применения новейших точных методик. Сурьма определялась амальгамно-полярографическим методом, чувствительность которого составляет 0,01  $\text{мкг/л}$ , ртуть — химическим методом с чувствительностью 0,5  $\text{мкг/л}$ . В результате проведенных полевых и лабораторных исследований были уточнены геологические и гидрогеохимические особенности Семилуженского сурьмяного рудопроявления.

В 1959 г. П. А. Удодовым и В. М. Матусевичем [1965] в данном районе работ были проведены гидрогеохимические исследования, целевым заданием которых являлась оценка перспективности района в отношении рудной минерализации. Авторами были выделены участки с повышенным содержанием в водах микрокомпонентов комплекса: свинец, медь, цинк, сурьма, ртуть, серебро, барий. Гидрогеохимическим методом прослежена Коларово-Семилуженская зона. В водах сурьмяного оруднения обнаружено всего в нескольких точках наличие сурьмы и повышенное содержание цинка до 0,24  $\text{мг/л}$ . Небольшую встречаемость сурьмы в водах можно объяснить низкой чувствительностью применяемого спектрального анализа. Интересно отметить, что все точки с наличием сурьмы, мышьяка, ртути и с повышенным содержанием цинка авторами приурочены к зонам тектонических нарушений.

Семилуженское рудопроявление расположено в северной части Колывань-Томской зоны, для которой характерно двухъярусное строение.

Нижний ярус сложен верхнепалеозойскими образованиями, верхний — рыхлыми осадками кайнозоя, залегающего горизонтально.

Рудовмещающими породами являются турнейские отложения нижнего яруса. Литологически это алевроито-глинистые сланцы и алевролиты с прослоями песчаников и известняков. Толща в большинстве случаев подвержена карбонатизации и окремнению, пронизана большим количеством кварцевых и карбонатных прожилок мощностью от 1—2 мм до 20—25 см.

Отложения палеозойского фундамента смяты в широтные складки с северо-восточным простираанием осей и осложнены складчатостью второго и третьего порядка. В структурном отношении рудопроявление сурьмы тяготеет к Коларово-Семилуженской зоне дробления, которая впервые выделена М. П. Нагорским. В пределах этой зоны отмечается интенсивная раздробленность сланцевой толщи, милонитизация, флексуорообразные перегибы сланцеватости и графитизация.

Площадь Семилуженского рудопоявления сложена породами турнейского яруса нижнего карбона, образующими антиклинальную складку, ось которой простирается в направлении, близком к северо-восточному. Там, где осевая часть антиклинали пересекается с субширотными зонами дробления, появляются кварцевые жилы и прожилки, несущие антимонит и образующие сложные штокверки с повышенным содержанием сурьмы.

Сложное геологическое строение обуславливает своеобразие гидрогеологических условий. В зависимости от геологического строения характера движения и химического состава вод нами выделены два водоносных комплекса:

1. Водоносный комплекс рыхлых кайнозойских отложений.
2. Водоносный комплекс палеозойских карбоновых отложений.

Первый водоносный комплекс в свою очередь подразделяется на два типа: верховодку, грунтовые воды аллювиальных отложений поймы рек и грунтовые воды надпойменных террас и покровных отложений.

Второй водоносный комплекс по условиям залегания также подразделяется на два типа вод: трещинные воды палеозойских отложений и трещинные напорные воды зон тектонических нарушений.

Верховодка, отражая специфику физико-географических условий геологического строения района исследований, представляет собой зональный тип вод. Она широко распространена на водоразделах, в прибортовых частях долин и в местах выхода источников грунтовых вод. Этому способствует превышение атмосферных осадков над испарением и наличие слабопроницаемых пород четвертичных образований, которые представлены в основном суглинками и реже супесями. Воды верховодки залегают на глубину 0,5—1,5 м, обычно в песчаных линзах, прожилках и гнездах. Режим этих вод полностью зависит от атмосферных осадков. По химическому составу верховодка относится к гидрокарбонатному кальциевому типу с минерализацией 0,05—0,1 г/л, pH 6,5—6,7 с содержанием кислорода 6—10 мг/л,  $C_{орг}$  8—10 мг/л,  $CO_2$  8—10 мг/л и хлора 4—5 мг/л. Слабокислая реакция вод, малая минерализация, достаточно высокое содержание кислорода, несколько повышенное содержание органики, присутствие растворенной углекислоты и хлора характеризуют агрессивные способности воды, которая в течение непродолжительного времени обогащается за счет почвенного горизонта, суглинков и супесей четвертичных отложений микрокомпонентами и в значительных количествах. Так, спектральным анализом в этих водах обнаружены (в мг/л): медь до 5,3; цинк до 21,5; никель до 7,5, марганец до 323. Кроме этих элементов, в водах верховодки определено еще одиннадцать микрокомпонентов, в их числе в отдельных точках опробо-

вания обнаружены специфические элементы: сурьма и ртуть в следовых значениях. Источник обогащения воды этими элементами пока остается не совсем ясным, но можно предположить, что они перешли в воду непосредственно из верхнего горизонта почв, богатого гумусом растительного происхождения. Влияние почв на химический состав вод остается весьма слабо изученным, а между тем еще В. И. Бернадский [1960] обращал внимание на то обстоятельство, что роль почвенных вод в формировании химического состава подземных вод велика.

Грунтовые воды четвертичных отложений, как уже было отмечено, подразделяются на спорадически распространенные воды тайгинской свиты, покровных отложений и надпойменных террас; воды аллювиальных отложений поймы реки. Водовмещающими породами являются пылеватые суглинки и бурые полимиктовые пески с прослоями глины и суглинков. Воды первого типа залегают в отдельных песчаных мало-мощных горизонтах, песчаных линзах, прожилках и гнездах. Разгрузка их происходит в виде малодобитных рассеянных нисходящих источников по долинам рек и логов. Режим их непостоянный, сказывается влияние атмосферных осадков. Питание этих вод преимущественно местное. Они характеризуются гидрокарбонатным магниево-кальциевым составом вод с нейтральной реакцией, обогащены кислородом (9—10 и более мг/л), имеют общую величину минерализации 0,2—0,4 г/л,  $\text{CO}_2$  7—10 мг/л, хлор 4,5 мг/л. Температура вод в летний период 15—23°С. В водах наблюдается сложный комплекс микрокомпонентов, который отражает состав вмещающих пород. Содержания элементов невысокие. В отдельных точках обнаружены повышенные содержания сурьмы, мышьяка и ртути. Это объясняется наличием сурьмяно-ртутной минерализации или подпитыванием трещинными водами палеозоя, обогащенных этими элементами.

Интерес представляют воды аллювиальных отложений поймы рек, которая сложена глинисто-илистыми образованиями с песком в основании. Нами установлено, что реки Киргизка и Каменка и частично притоки Малка и Межовка даже в летнее время имеют преимущественно подземное питание за счет трещинных вод палеозоя и напорных вод зон тектонических нарушений. На это указывает почти полное отсутствие в воде кислорода, низкое содержание органического углерода (до 3 мг/л), нередко наличие сульфат-иона до 10 мг/л, присутствие свободной уголекислоты от 7,5 до 18 мг/л и густота линий гидроизогипс. Вода характеризуется гидрокарбонатным кальциево-магниевым составом с минерализацией 0,4—0,6 г/л и слабощелочной реакцией. Микрокомпонентный состав вод очень сложный: сурьма, мышьяк, ртуть, цинк, свинец, медь, серебро и др. Содержание сурьмы, ртути, мышьяка, представлено в табл. 1, из которой видно, что сурьма в этих водах присутствует в широком интервале от 0,5 до 50 мкг/л, в меньших количествах — ртуть и мышьяк. Содержание цинка, меди, свинца и серебра в этих водах колеблется от первых единиц до первых десятков мкг/л. Фоновые значения для ведущих элементов следующие: сурьма—3,8 мкг/л, мышьяк—3,0 мкг/л, ртуть—1,0 мкг/л. Аномальные содержания сурьмы в водах рек (т. 126, 135, табл. 1) говорят о прямой связи ее с сурьмяной минерализацией. Это подтверждают результаты исследования проб в точке 1 (табл. 1), которая отобрана непосредственно на месте сурьмяного рудопроявления на реке Киргизке. Высокие содержания ртути в водах также свидетельствуют о связи этих вод с рудной минерализацией. При этом необходимо учесть, что лето 1970 г., когда получены данные, было очень дождливым, и конечно, имеет место разубоживание вод атмосферными осадками. Несмотря на это, мы получили в водах аномальные содержания сурьмы и ртути.

Таблица 1

## Содержание сурьмы, ртути и мышьяка в водах сурьмяного рудопроявления

| №№<br>п/п.       | Номера проб | Глубина<br>отбора,<br>м | рН  | Еh  | SO <sub>4</sub> ,<br>мг/л | O <sub>2</sub> ,<br>мг/л | Минерали-<br>зация,<br>г/л | Химический<br>состав вод | Элементы, мкг/л |         |      |
|------------------|-------------|-------------------------|-----|-----|---------------------------|--------------------------|----------------------------|--------------------------|-----------------|---------|------|
|                  |             |                         |     |     |                           |                          |                            |                          | Sb              | Hg      | As   |
| Ручьи            |             |                         |     |     |                           |                          |                            |                          |                 |         |      |
| 1                | 1           | —                       | 7,9 | 120 | нет                       | 4                        | 0,45                       | HCO <sub>3</sub> CaMg    | 50,0            | 4,25    | 5,0  |
| 2                | 6           | —                       | 7,6 | 90  | нет                       | 10                       | 0,40                       | HCO <sub>3</sub> NaCa    | 1,0             | нет     | 6,0  |
| 3                | 87          | —                       | 7,6 | 80  | нет                       | 1                        | 0,46                       | HCO <sub>3</sub> CaMg    | 0,5             | нет     | нет  |
| 4                | 123         | —                       | 7,9 | 120 | нет                       | 2                        | 0,70                       | "                        | 1,5             | 3,5     | 3,0  |
| 5                | 126         | —                       | 7,6 | 130 | нет                       | нет                      | 0,40                       | "                        | 3,0             | 2,0     | 2,21 |
| 6                | 135         | —                       | 8,1 | 150 | нет                       | нет                      | 0,71                       | "                        | 23,0            | нет     | нет  |
| Источники        |             |                         |     |     |                           |                          |                            |                          |                 |         |      |
| 7                | 2           | —                       | 6,9 | 110 | 4,0                       | нет                      | 0,55                       | HCO <sub>3</sub> NaCa    | 30,0            | 1,5     | 2,8  |
| 8                | 3           | —                       | 6,9 | 130 | 4,0                       | нет                      | 0,65                       | "                        | 46,0            | 3,5     | 4,9  |
| 9                | 31 (туф)    | —                       | 7,1 | 120 | нет                       | 2,5                      | 0,63                       | HCO <sub>3</sub> MgCa    | 3,2             | не опр. | 4,9  |
| 10               | 137 (туф)   | —                       | 7,1 | 80  | 10                        | нет                      | 0,40                       | HCO <sub>3</sub> CaMg    | 1,0             | 0,5     | 0,02 |
| Скважины         |             |                         |     |     |                           |                          |                            |                          |                 |         |      |
| 11               | 1р          | 20                      | 6,8 | 140 | 100                       | нет                      | 1,20                       | HCO <sub>3</sub> NaCa    | 29              | 6,0     | 4,06 |
| 12               | 2           | 40                      | 7,6 | 140 | 35                        | нет                      | 0,66                       | "                        | сл              | 5,0     | нет  |
|                  |             | 70                      | 7,6 | 130 | 25                        | нет                      | 0,58                       | "                        | сл              | 2,0     | нет  |
|                  |             | 10                      | 7,5 | 80  | 4,0                       | нет                      | 0,65                       | "                        | 1,9             | нет     | нет  |
|                  |             | 52                      | 7,0 | 100 | сл                        | нет                      | 0,63                       | "                        | 4,15            | нет     | 5,81 |
| 13               | 28          | 100                     | 7,4 | 100 | нет                       | нет                      | 0,95                       | HCO <sub>3</sub> NaMg    | 16              | нет     | 9,46 |
| 14               | 17          | 7,0                     | 7,1 | 40  | 70                        | нет                      | 0,80                       | HCO <sub>3</sub> CaNa    | не опр.         | 15      | нет  |
| Фоновые значения |             |                         |     |     |                           |                          |                            |                          | 3,8             | 1,0     | 3,0  |

Особый интерес в поисковом отношении представляют трещинные воды палеозоя и напорные трещинные воды зон тектонических нарушений. Характерной особенностью этого типа вод является более сложный состав микрокомпонентного комплекса, что отражает сложные условия их питания и движения. В процессе разгрузки эти воды смешиваются с водами вышележащих горизонтов, которые зачастую отличаются по составу макро- и микрокомпонентов.

Подземные воды палеозойских отложений распространены повсеместно и приурочены к региональной мелкой трещиноватости зоны выветривания глинистых сланцев, алевролитов и песчаников нижнего карбона. Разгрузка этих вод происходит по долинам рек Киргизки и Каменки в виде отдельных источников восходящего типа с дебитом 0,01—0,2 л/сек. Температура воды, как правило, 5° С. Эти воды вскрыты большим количеством скважин. Кровлей водоносного горизонта служат четвертичные отложения либо кора выветривания коренных пород. Глубина залегания изменяется от нескольких до 30 и более метров. Направление движения подземного потока происходит в основном в сторону долин Киргизки и Каменки (рис. 1). Наиболее интенсивная разгрузка происходит с водораздельной части рек Киргизки и Каменки. На основании этого выделяются два участка (I и II, рис. 1), которые отличаются по величине гидравлического уклона ( $I=0,04—0,06$ ,  $I=0,0083—0,02$ ) и модулю подземного стока. Трещинные воды палеозоя почти повсеместно имеют напор от 3 до 10 и более метров, в ряде скважин были вскрыты безнапорные воды. По химическому составу трещинные воды палеозоя в основном гидрокарбонатные кальциевые с минерализацией 0,4—0,6 г/л, нейтральные (рН 6,8—7,2) с присутствием сульфат-иона от следов до 60 мг/л. Эти воды, как правило, практически без кислорода с содержанием свободной углекислоты 15—32 мг/л и хлор-иона 6—14 мг/л. В них отмечается сложный комплекс элементов, подобный комплексу аллювиальных вод поймы рек. Следует отметить, что содержание цинка, свинца, меди и серебра в последних водах ниже, чем в палеозойских. В трещинных водах палеозоя сурьма обнаружена в 80% точек опробования с содержанием от следов до 30 и более мкг/л, а ртуть в 50% точек с содержанием от 0,5 до 5,0 мкг/л (табл. 1, ист. 2, скв. 2). При коэффициенте контрастности 10 и выше можно предполагать, что рассмотренные воды обогащаются сурьмой только за счет сурьмяной минерализации палеозойских образований. Необходимо еще раз отметить, что не во всех палеозойских источниках обнаружена сурьма.

Трещинные напорные воды приурочены к зонам разрывных нарушений глубокого заложения северо-восточного направления. Палеозойские породы, как отмечалось выше, чаще окварцованные, ороговикованные с обилием сингеничного пирита и сильно раздробленные.

Воды зон нарушений были вскрыты скважинами глубиной 80—150 м. Все воды напорные, удельные дебиты составляли 0,45—0,66 л/сек. Чаще всего разгрузка этих вод происходит по долинам рек в виде источников восходящего типа с дебитом 0,02—0,5 л/сек. Режим источников постоянный с температурой воды 4—5° С. Область питания этих вод лежит за пределами района исследований (Томь-Обской водораздел). Воды зон тектонических нарушений выделяются среди других типов вод повышенной общей минерализацией (0,6—1,0 и более г/л) и отсутствием кислорода, повышенными значениями свободной углекислоты (50—66 мг/л), хлор-иона (74—92), сульфат-иона (30—100 мг/л), присутствием закисного железа и иона аммония. Часто вокруг источников, связанных с зонами тектонических нарушений, отлагаются карбонатные травертины (известковые туфы) в виде конусов и покровов. Они имеют различные

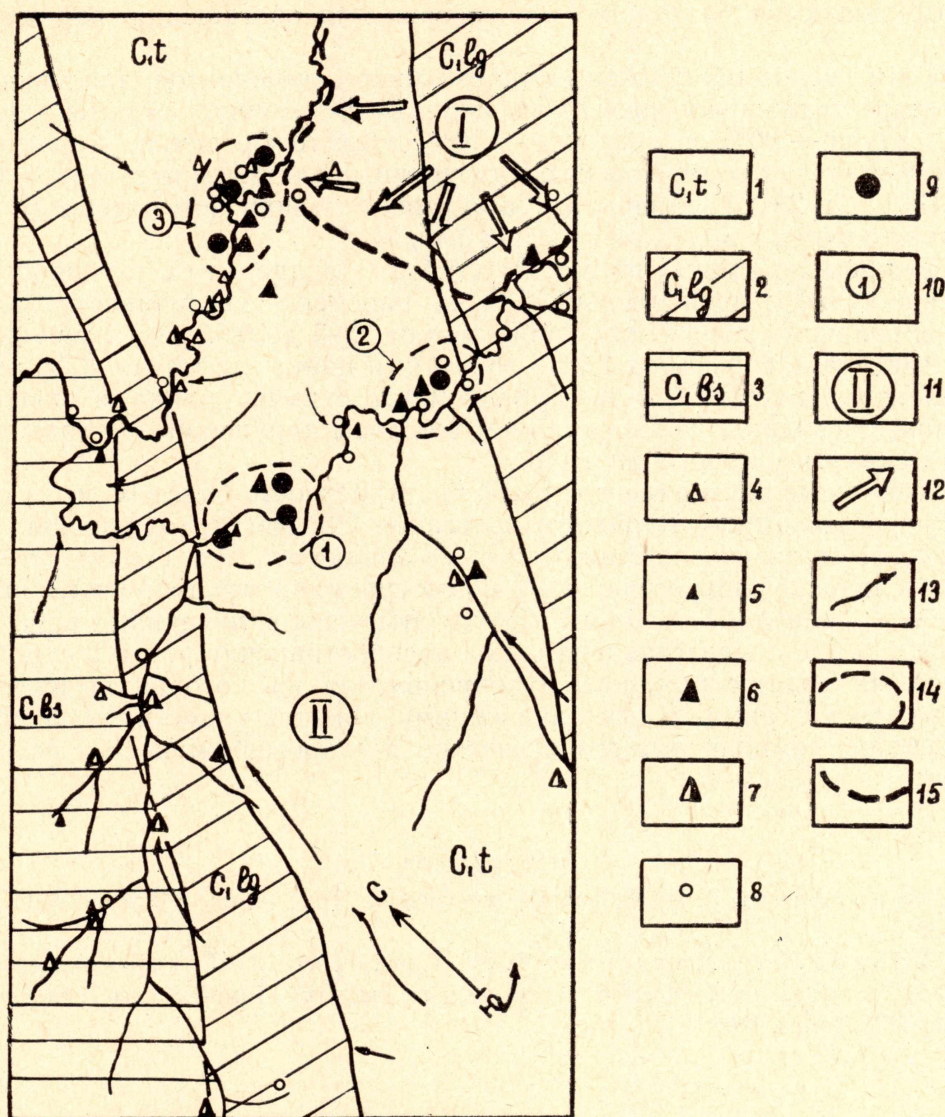


Рис. 1. Схема распространения сурьмы и ртути в природных водах Семилуженского рудопоявления: 1 — нижний карбон, турнейский ярус, глинистые и алевроито-глинистые сланцы; 2 — нижний карбон, лагерносадская свита, глинистые и алевроитоглинистые сланцы; 3 — нижний карбон, басандайская свита, песчаники и глинистые сланцы. Содержание сурьмы в мкг/л: 1970; 4 — от 1 до 3,5; 5 — от 3,5 до 5; 6 — от 5 до 10; 1959; 7 — от 0,0005 до 0,05. Содержание ртути в мкг/л: 8 — от 1 до 3; 9 — от 5 до 10 и более; 10 — гидрогеохимические участки с повышением содержания сурьмы и ртути; 11 — участки с различной водообильностью. 12 — направление движения подземного потока с  $J_1=0,04-0,06$ , 13 — направление движения подземного потока с  $J_{II}=0,0083-0,02$ ; 14 — условные границы выделенных гидрогеохимических участков; 15 — условные границы гидродинамических зон.

по составу комплексы микрокомпонентов, что позволяет их использовать при поисках.

Образование травертин вокруг источников есть наглядное доказательство проявления геохимического барьера.

Напорные воды зон нарушений имеют гидрокарбонатный натриево-кальциевый состав. Тектонические нарушения обеспечивают наибольшую глубину проникновения растворенных в воде газов, в особенности кислороду, который способствует окислению сульфидов на значительных глубинах ( $> 150$  м). Благодаря глубинным окислительным про-

цессам создаются благоприятные условия для обогащения вод металлами.

В этих водах обнаружен комплекс микрокомпонентов, аналогичный по составу трещинным водам палеозоя. Встречаемость сурьмы в водах 100%, ртути — 50% и мышьяка — 10%. Некоторые точки, характеризующие воды зон тектонических нарушений, представлены в табл. 1 (т. 3, 31, 137, 1 р. и 28). Табличные данные говорят о широком интервале присутствия сурьмы в водах от 1,0 до 46 *мкг/л*.

На примере данных по скв. 28 (табл. 1) видно, что с глубиной присутствие сульфат-иона уменьшается, и, наоборот, увеличивается содержание: величины общей минерализации от 0,65 до 0,95 *г/л*, мышьяка от 0 до 9,46 *мкг/л*, сурьмы от 1,9 до 16 *мкг/л* и цинка от 2,3 до 473 *мкг/л*. Повышенные содержания на глубине 100 м сурьмы, цинка и мышьяка связаны, очевидно, с подпитыванием вод зоны нарушения, которая пересекает скважину на этой же глубине.

Трещинные воды палеозоя имеют контрастность более 10, что указывает на возможность глубокого залегания сурьмяного оруднения.

Из всего вышеизложенного можно заключить, что сурьма, ртуть и мышьяк широко распространены в водах сурьмяного рудопроявления. Повышенные содержания сурьмы и ртути отмечены в трещинных водах палеозоя. На рис. 1 представлена схема распространения ртути и сурьмы в природных водах сурьмяного рудопроявления, на которой выделяются три участка с аномальными значениями. На этих участках необходимо продолжать комплексные геологические и гидрогеохимические исследования.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Вернадский В. И. Избранные сочинения. Том. 4, кн. 2. Изд-во АН СССР, М., 1952.
  2. Удодов П. А., Матусевич В. М., Григорьев Н. В. Гидрогеохимические поиски в условиях полужакрытых геологических структур Томь-Яйского междуречья. Изд.-во ТГУ, Томск, 1965.
-