

СССР  
МИНИСТЕРСТВО ГЕОЛОГИИ И ОХРАНЫ НЕДР

ВСЕСОЮЗНЫЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ  
ГИДРОГЕОЛОГИИ И ИНЖЕНЕРНОЙ ГЕОЛОГИИ  
ВСЕГИНГЕО

**ВОПРОСЫ  
ГЕОХИМИИ ПОДЗЕМНЫХ ВОД**

МОСКВА  
1962

МИНИСТЕРСТВО ГЕОЛОГИИ И ОХРАНЫ НЕДР СССР

Сборник трудов  
Всесоюзного научно-исследовательского  
института гидрогеологии и инженерной геологии  
/ВСЕГИНГЕО/

ВПРОСЫ ГЕОХИМИИ ПОДЗЕМНЫХ ВОД

Москва 1967

Научный редактор  
Л.В.Славянова

Л-88968 от 9/ХП-1961 г. Заказ 15 Тираж 600 Цена 55 коп.

Ротапринт ВСЕГИНГЕО

СО Д Е Р Ж А Н И Е		Стр.
А.А. Б р о д с к и й. Интерпретация данных гидрохимических поисков рудных месторождений . . . . .		3
Глава I. Гидрохимические поисковые признаки . . . . .		5
Глава II. Гидрохимические аномалии . . . . .		37
Глава III. Интерпретация данных гидрохимических поисков		54
1. Установление гидрохимических поисковых признаков рудных месторождений . . . . .		55
2. Выявление и оконтуривание гидрохимических аномалий . . . . .		86
3. Выявление природы гидрохимических аномалий		93
4. Установление пространственной связи гидрохимических аномалий с местоположением рудных тел . . . . .		107
5. Оценка перспективности гидрохимических аномалий . . . . .		120
Краткие пояснения основных терминов и понятий, встречающихся в работе . . . . .		127
Литература . . . . .		136
С.Р. К р а й н о в и С.Д. Ка п р а н о в. Основные принципы применения гидрохимического метода для поисков некоторых несulfидных месторождений в условиях аридной зоны . . . . .		142
В.А. П о л я к о в и И.Н. В о р о б ъ е в а: О влиянии некоторых физико-химических факторов на сорбцию микрочастиц меди и цинка осадком гидрата окиси железа...		156

А.А.Бродский  
ИНТЕРПРЕТАЦИЯ ДАННЫХ ГИДРОХИМИЧЕСКИХ <sup>x/</sup> ПОИСКОВ  
РУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

П р е д и с л о в и е

Правильная интерпретация результатов гидрохимических поисков рудных месторождений имеет большое значение для эффективного и полноценного проведения этих работ. Разработка теории и методов гидрохимических поисков рудных месторождений началась сравнительно недавно, еще меньший срок имеет опыт практического применения этих поисков, поэтому в опубликованных до настоящего времени работах вопросы интерпретации излагались лишь в самом общем виде. Даже в последних методических указаниях В.В.Поликарпочкина (1959 г) этому вопросу уделено очень мало внимания. В решениях межведомственных совещаний по гидрохимическим поискам неоднократно подчеркивалась необходимость опубликования работ, посвященных вопросу интерпретации результатов гидрохимических поисков.

В настоящей работе приводится методика интерпретации результатов гидрохимических поисков. Основой для такой интерпретации является теория формирования химического состава водного ореола рассеяния и положения о гидрохимических поисковых признаках и о гидрохимической аномалии.

Настоящая работа предназначена для гидрогеологов и геологов, проводящих гидрохимические поиски рудных месторождений, и может быть использована студентами гидрогеологических и геохимических специаль-

ностей геологоразведочных и горных вузов и университетов.

Следует подчеркнуть, что эта работа ни в коем случае не должна рассматриваться как инструкция; в каждом отдельном случае целесообразность применения изложенных в ней методических приёмов должна быть оценена и взвешена в зависимости от конкретных условий проведения поисков.

Для правильного почтения встречающихся в этой работе терминов приведены определения их понятий в конце работы.

Все пожелания и замечания по работе просьба направлять в институт ВСЕГИНГЕО по адресу: Москва, В-17, Б.Ордынка, 32.

x/ Правильным названием является - Гидрогеохимические поиски; в литературе же широко распространено название - Гидрохимические поиски.



ГЛАВА I. ГИДРОХИМИЧЕСКИЕ ПОИСКОВЫЕ ПРИЗНАКИ

Все компоненты и показатели минерализации воды, содержание и значение которых претерпевают изменения под влиянием рудных тел и первичных и вторичных ореолов рассеяния месторождений, являются гидрохимическими поисковыми признаками.

Эти изменения устанавливаются при сравнении этих значений с величинами содержания компонентов в региональных водах, т.е. по сравнению с величинами содержаний, характерными для фоновых вод.

Гидрохимические поисковые признаки для сульфидных месторождений.

1. Пониженные (по отношению к фоновым водам) значения pH воды.

2. Повышенные (по отношению к фоновым водам) содержания <sup>компонентов</sup> минерализации <sup>\*)</sup> входящих в состав:

а) рудных минералов сульфидных месторождений ( $SO_4, Ca, Zn, Pb, W, U, Ag, Sb, As, Sn, Mo, Ni, Co, Bi, Cd, Se$ ); б) жильной массы и, кроме того, обогащающих воду в основном в результате её повышенной агрессивности ( $Te, Au, Si, Ba, Ca, Mg, Na$ ); в) гидротермально измененных пород первичных ореолов рассеяния ( $B, F, Cl, Li, Be, Hg$ ); г) вмещающих пород и, кроме того, обогащающих воду в результате её повышенной агрессивности ( $Cu, Mn, Si$  и др.).

3. Аномальные (по отношению к фоновым водам) значения общей минерализации воды.

\*) Приведенное ниже разделение металлов на группы несколько условно, так как ряд металлов может входить не в одну, а в несколько групп. Так, например, повышенные содержания никеля в воде могут быть обусловлены как высокой концентрацией его в рудных минералах и большей растворимостью продуктов окисления этих минералов, так и в результате его перехода в воду из вмещающих пород при разрушении последних агрессивными водами. Барьеры воды могут обогащаться как за счет жильной массы, так и за счет гидротермально-измененных пород.

4. Измененный (по сравнению с фоновым) химический тип воды.

Проявление каждого из гидрохимических поисковых признаков имеет свои особенности. Важное практическое значение при гидрогеохимических поисках рудных месторождений имеют расстояния, на которые могут быть прослежены в стороны от рудного тела аномальные значения компонентов минерализации или свойств воды, а также степень трудности установления связи выявленных изменений в химическом составе вод с влиянием рудных тел, являющимися предметом поисков.

По характеру проявления этих особенностей все компоненты минерализации, аномальные значения которых являются гидрохимическими поисковыми признаками, можно подразделить следующим образом (см. табл. I).

Таблица I

Гидрохимические поисковые признаки		
Группы	Подгруппы	
	Легко интерпретируемые	Трудно интерпретируемые
Ореольные	Mo	$SO_4, Zn, Ni, Li, Mg, Ca, Cl, Mn, Ti, Ba, Be, (B), (F), (Hg)$
Переходные	Cu	pH, общая минерализация, сульфатный тип воды
Рудные	$Co, Cd, Bi, Sb, Bi, Zr, H, Ni$	$U, Se, Si, Au, Fe, Mg, Ca$

Примечание: Для элементов, заключенных в скобки, фактического материала по их содержанию в рудных и ореольных водах очень мало, поэтому в основу распределения их по группам положены лишь теоретические предположения.

Ореольными гидрохимическими поисковыми признаками являются компоненты минерализации, повышенные содержания в воде которых могут распространяться на значительные расстояния от рудных тел, а также те из них, повышенные содержания которых образуются только в ореольных водах. Таким образом, ореольными гидрохимическими поисковыми признаками являются повышенные содержания компонентов минерализации: а) переносимые растекающимися рудными водами и имеющие высокие пределы возможных содержаний в водах ( $Mo, Zn, Ni, Ag, SO_4$ ); б) образующиеся при взаимодействии с гидротермально-измененными породами - первичными ореолами рассеяния месторождений в породах ( $Zn, Pb, Fe, Cu, Ba$ ); в) образующиеся при взаимодействии со вторичными ореолами (потоками) рассеяния месторождений и г) повышенные содержания компонентов минерализации, образующиеся вследствие разрушения вмещающих пород агрессивными водами ( $Fe, Cu, Mn$  и др.).

Переходные гидрохимические поисковые признаки могут быть в одних случаях ореольными, в других рудными признаками, причем этот переход происходит довольно легко даже при небольшом изменении условий. Так, если грунтовые воды приурочены к карбонатным породам и имеют минерализацию около 1 г/л и pH приблизительно 7,2-7,6, то повышенные содержания меди обнаруживаются лишь в рудных водах. Если же грунтовые воды передвигаются в силикатных породах и pH их несколько ниже 7, то повышенные содержания меди могут быть обнаружены и в ореольных водах.

Пониженное значение pH для водоносных горизонтов, приуроченных к карбонатным породам или находящихся под воздействием слабо окисляющегося рудного тела, обнаруживаются лишь в рудных водах, а для водоносных горизонтов, приуроченных к силикатным породам или находящихся под воздействием интенсивно окисляющегося

рудного тела, низкие pH фиксируются и в рудных и в ореольных водах.

Следует отметить, что изменение геолого-гидрогеологической обстановки может привести к изменению расстояний миграции повышенных содержаний элементов. В результате ореольные признаки могут стать рудными или наоборот, рудные ореольными.

Для гидрохимических поисковых признаков, относящихся к группе переходных, характерно, что такие изменения происходят значительно легче и наблюдаются довольно часто.

К рудным гидрохимическим поисковым признакам отнесены повышенные содержания ряда элементов, прослеживающиеся, как правило, только в пределах распространения рудных вод. Это прежде всего повышение содержания металлов, сохраняющихся преимущественно в водах с низким pH, т.е. металлов содержание которых в водах контролируется гидроксидями ( $Sb, Sn, Bi, Fe, Ga, In, Fe, Al$  и др.) или карбонатами ( $Co, Cd, Hg, Pb$ ) с очень низкими произведениями растворимости. Сюда же относится и кремневая кислота, соединения которой с широко распространенным в природных водах кальцием также имеют низкие величины произведения растворимости. В отдельных случаях повышенные содержания этих металлов могут быть обнаружены в рудных водах и с достаточно высоким pH (около 7). Такие повышенные содержания возникают в местах непосредственного контакта воды с окисляющимися сульфидными минералами, где pH понижается вследствие воздействия этих минералов. По мере удаления от места контакта pH воды увеличивается и образуются коллоиды, которые могут переноситься на небольшие расстояния от рудного тела.

Повышенные содержания кальция и магния, образуемые под воздействием агрессивных рудных вод, почти не отличаются от фоно-

вых значений, поэтому чаще всего эти повышенные содержания еще до перехода рудных вод в ореольные снижаются до фоновых.

При разделении гидрохимических поисковых признаков на группы (см. табл. 1) в основном учитываются два фактора - 1) величины произведения растворимости гидроксидов и карбонатов металлов, контролирующих их содержания в водах и 2) источники образования в рудных и ореольных водах повышенных содержаний элементов. Оба эти фактора рассматривались вместе, учитывались более распространенные проявления их, что неизбежно привело к схематичности классификации. Так, например, к ореольным гидрохимическим поисковым признакам отнесены  $Ca, Mg, Sr, Ba, Pb$  в силу того, что минералы этих элементов распространены в гидротермально-измененных породах. В то же время минералы этих элементов могут находиться и в составе рудных тел. В таком случае, при низком произведении растворимости контролирующих соединений, повышенные содержания указанных элементов являются рудными гидрохимическими поисковыми признаками.

Таблица 2

Условия распределения аномальных величин компонентов и показателей минерализации вод

Причины образования аномальных содержаний.	Комп о н е н т ы		Особенности распределения повышенных содержаний
	преимущественного значения	подчиненного значения	
1	2	3	4
Окисление сульфидов, входящих в состав рудных тел и первичных и вторичных ореолов рассеяния	$Mo, Zn, SO_4, Cu, Pb, As$ $Sb, Co, Cd, Fe, Mn, Sn$	$Ni, Mn, Sr, Ba$	Максимальные содержания приурочены к рудным водам с постепенным убыванием в сторону от рудного тела, отдельные пики повышенных содержаний наблюдаются в местах расположения первичных и вторичных ореолов рассеяния, представленных сульфидами

	1	2	3	4
Разрушение вторичных минералов, входящих в состав зоны окисления рудных тел и вторичных ореолов рассеяния.	$Mo, Zn, SO_4, Sb, Sr, Ag$	$pH$		Максимальные содержания приурочены к рудным водам и к первой зоне ореольных вод, иногда в ореольных водах содержания могут быть более высокие, чем в рудных водах ("смешанные ореолы")
Разрушение агрессивными водами кильной массы	$Ca, Mg, Sr, Ba$			Аномальные содержания обычно приурочены только к рудным водам.
Разрушение первичных ореолов рассеяния	$SO_4, Sr, Ba, Cl, (Pb), (Zn), (Hg)$	$Sb, As$		Аномальные содержания приурочены к ореольным водам первичных ореолов рассеяния образуя или самостоятельные гидрохимические аномалии, или же аномалии другого состава, или с более повышенным содержанием на площади общей гидрохимической аномалии данного рудного тела
Разрушение солевых ореолов (потоков) рассеяния	$Zn, SO_4$	$Mo$		Аномальные содержания наблюдаются только в ореольных водах, вдали от рудных тел, иногда на расстоянии до 10-20 км образуют или самостоятельные гидрохимические аномалии, или отдельные участки с более повышенным содержанием этих металлов.

	1	2	3	4
Разрушение агрессивными водами вмещающих пород	<i>Zn, Pb, Mn, Ni, Fe, Co</i>	<i>Se, Ga</i>	Аномальные содержания наблюдаются только в ореольных водах. Величина повышенных содержаний, размеры участков, занимаемых ими, зависят от агрессивности растекающихся рудных вод и от состава пород и содержания в них соответствующих металлов	

Таким образом, закономерности распределения аномальных значений компонентов и показателей минерализации, являющихся гидрохимическими поисковыми признаками, значительно сложнее, чем это предусматривается классификацией. Представление об условиях распределения аномальных значений компонентов минерализации дает таблица 2.

В классификации гидрохимических поисковых признаков (табл. I) к подгруппе легко интерпретируемых отнесены элементы, повышенные содержания которых почти всегда связаны с влиянием сульфидных рудных тел, и очень часто свидетельствуют о наличии рудных или ореольных вод.

К подгруппе трудно интерпретируемых отнесены компоненты минерализации и показатели свойств минерализации вод, аномальные содержания которых могут возникать как в результате влияния сульфидных тел, так и в силу ряда иных причин, среди которых выделяют-ся (весьма схематично) следующие.

I. Наличие высоких содержаний элементов не только в гидротермальных килах, но и в других породах. Так, засоленные и плохо промы-

тые породы содержат повышенные количества сульфатов и хлоридов кальция и магния, многие глины могут быть обогащены галлием. Породы, обогащенные апатитом или флюоритом, имеют повышенные содержания фтора, в частности, повышенные содержания этого элемента характерны для многих известняковых толщ.

2. Повышение содержаний компонентов минерализации при увеличении пути их движения. Это явление характерно для компонентов минерализации, имеющих высокий контроль содержаний. Для элементов с высокими кларками это явление имеет очень широкое распространение (например, для сульфата и хлор-ионов). Для элементов с низким кларком такой процесс может наблюдаться в районах со специфическими геологическими условиями (например, в условиях концентрирования бора в подземных водах геосинклинальных областей, никеля - в районах, сложенных основными изверженными породами и т.д.).

3. Интенсивное испарение с поверхности капиллярной каймы грунтовых вод, преобладающее над инфильтрацией. Этот фактор обуславливает главным образом повышенное содержание элементов (например, урана, цинка) выпадающих из раствора в виде легко растворимых соединений.

4. Интенсивное химическое выветривание пород при условии, если элемент присутствует в породообразующих минералах как изоморфная примесь. В таких случаях часто наблюдается повышение содержания цинка.

В силу описанных причин правильная интерпретация повышенных содержаний элементов, являющихся гидрохимическими поисковыми признаками этой подгруппы, должна производиться с учетом всех геолого-гидрогеологических особенностей изучаемого района.

Приведенная классификация гидрохимических поисковых признаков характеризует их только в самых общих чертах и применима для наиболее типичных геолого-гидрогеологических условий. Поэтому, как правило, она должна использоваться лишь при первом приближенном выборе и систематизации гидрохимических поисковых признаков, а также при ориентировочной оценке результатов, проведенных гидрохимических исследований и при выборе методов обработки материалов этих исследований. Для детального изучения необходима более подробная характеристика проявления гидрохимических поисковых признаков в зависимости от геолого-гидрогеологической обстановки.

Остановимся более подробно на характеристике некоторых наиболее часто используемых гидрохимических поисковых признаках.

**Молибден** ( кларк  $3 \cdot 10^{-4}$  вес %). Содержание в рудных водах достигает 10-15 мг/л, в ореольных водах приблизительно десятки и сотни мкг/л, иногда единицы мкг/л. В водах механических ореолов рассеяния содержание молибдена достигает величин, характерных для рудных вод, иногда превышает эти величины. В фоновых водах молибден содержится в единицах и десятых долях мкг/л.

Основным источником обогащения молибденом рудных и ореольных вод сульфидных месторождений является молибденит и продукты его окисления (окислы, молибдаты), которые всегда присутствуют в месторождениях, эксплуатируемых как молибденовые, и в ряде семейств месторождений других металлов (например, медно-порфировых, кварц-касситеритовых, кварц-вольфрамитовых руд). Таким источником могут также являться изоморфные примеси молибдена в других сульфидных минералах, что особенно характерно для многих полиметаллических месторождений.

В связи с трудной растворимостью молибденита, особенно если он представлен мелкой вкрапленностью в кварце и с сорбцией молибдена гидроокисями железа и марганца при низких рН воды, часто наблюдает-

ся приуроченность его более высоких содержаний не к рудным, а к ореольным водам механических ореолов рассеяния. Высокая, по отношению к типичным для ореольных вод содержаниями молибдена, растворимость соединений, являющихся контролем его содержания в водах (ферромолибденит, повеллит), приводит к беспрепятственной миграции его повышенных содержаний в любых условиях, характерных для грунтовых вод. Снижение повышенных содержаний до фоновых происходит в основном лишь в результате разбавления ореольных вод фоновыми.

По имеющимся в настоящее время данным, изменение значений окислительно-восстановительного потенциала в пределах, характерных для грунтовых вод, заметного влияния на миграцию повышенных содержаний молибдена не оказывает.

Повышенное содержание молибдена в водах в результате процесса вторичного соленакопления происходит лишь в условиях аридного климата, при очень большом превышении испарения над количеством выпадающих атмосферных осадков. Малая величина кларка молибдена, его крайне рассеянное состояние в породах, заставляет предполагать, что и в этих случаях повышенные содержания молибдена в водах связаны с влиянием рудных тел. Иногда такие повышенные содержания молибдена образуются на больших (до 20 км) расстояниях от рудных тел (Е.Е. Белякова, 1958 г.)

Таким образом, повышение содержания молибдена относительно фоновых вод является почти идеальным ореольным легко интерпретируемым гидрохимическим поисковым признаком, который должен использоваться во всех условиях, если только есть основание предполагать, что в рудных телах имеются минералы молибдена или он содержится в рассеянном состоянии в других минералах. Особенно необходимо приме-

нение этого гидрохимического признака, помимо поисков молибденовых месторождений, при поисках месторождений металлов: а) плохо мигрирующих в водах (например, вольфрама, кобальта) но образующие

рудные тела с повышенной концентрацией молибдена; б) в условиях аридных областей с высокой минерализацией вод и явлениями вторичного засоления. В этих условиях относительно повышенные содержания молибдена могут очень часто являться единственным гидрохимическим поисковым признаком.

Сульфат-ион. Обогащение подземных вод сульфат-ионом под воздействием рудных тел происходит в результате окисления и растворения всех сульфидных минералов, слагающих рудные тела. Среди этих минералов первое место занимает пирит, окисление и растворение которого может являться причиной повышения содержания сульфат-иона в ореольных водах первичных ореолов рассеяния месторождений, так как для гидротермально-измененных пород очень часто характерна большая распространенность этого минерала.

Источником обогащения сульфат-ионом ореольных вод также могут являться вторичные сульфаты, входящие в состав как зоны окисления рудных тел, так и вторичных ореолов рассеяния. При высокой карбонатности окружающей обстановки и при отсутствии в рудных телах молибдена, сульфат-ион может являться единственным компонентом минерализации, повышение содержания которых входят в ореольные воды. Повышенные содержания сульфат-иона могут быть единственным признаком ореольных вод находящихся в условиях высокой карбонатности среди рудных тел, в состав которых входят лишь сульфиды металлов, легко гидролизующиеся или образующие труднорастворимые карбонаты, (висмут, кобальт, сурьма и т.п.). В то же время в рудных водах, химический состав которых формируется под влиянием неокисленных суль-

фидных рудных тел, десорбции металлов из лимонитов зоны выщелачивания, а также при разрушении вторичных карбонатных минералов, содержания сульфат-иона столь незначительно повышены, что практически установить это невозможно.

Сульфат-ион устойчив в подземных водах окислительной обстановки, и его повышенные содержания хорошо сохраняются при движении вод в стороны от рудного тела. Этот признак исчезает постепенно в результате разбавления ореольных вод фоновыми. Поэтому, расстояние, на которое мигрируют воды с относительно повышенным содержанием сульфат-иона, как правило, большое (1 км и более). При большой интенсивности водообмена и слабой энергии окисления рудных тел эти расстояния могут сократиться до нескольких сот метров, могут они и увеличиться до 10 км и более в связи со способностью сульфат-иона образовывать хорошо растворимые солевые ореолы (попки) рассеяния месторождений.

В водах с восстановительной обстановкой, в результате процессов десульфирования, сульфат-ион очень быстро разрушается. Для грунтовых вод процесс десульфирования наиболее интенсивно развивается, если движение их медленное (застойного характера) и они богаты органическим веществом. Для процесса десульфирования необходимы не очень низкие температуры воды, поэтому в районах со среднегодовой воздуха, близкой к 0° (например, в Вост.Забайкалье), этот процесс как правило не происходит. Грунтовые воды аридных областей имеют достаточно высокую температуру, но часто бедны органическим веществом, что также не благоприятствует течению процесса десульфирования. Только на отдельных участках, где в силу каких-либо причин, происходит обогащение воды органическим веществом (например, в заболоченных местах) этот процесс интенсивно про-

является. Наиболее широко проявляется процесс десульфирования в южной части гумидной области и в области неустойчивого увлажнения (Ю. Урал).

В местах, благоприятных для развития процесса десульфирования, повышенные содержания сульфат-иона не могут быть использованы в качестве ореольного гидрохимического поискового признака; в лучшем случае они могут быть рудным гидрохимическим поисковым признаком.

Благодаря относительно хорошей растворимости и широкой распространенности в породах вторичных сульфатных солей кальция и магния сульфат-ион является одним из основных компонентов минерализации подземных вод, и поэтому повышение его содержания происходит как при увеличении длины пути движения подземных вод и засоленности пород, так и при процессах вторичного соленакпления. По этим причинам увеличивается содержание сульфат-иона в фоновых водах, что уменьшает разницу между его содержанием в этих водах и в рудных и ореольных водах. Иногда это и совсем маскирует повышенные содержания сульфат-иона, связанные с влиянием рудных тел.

Другим следствием принадлежности сульфат-иона к макрокомпонентам минерализации подземных вод, является то, что в сложных гидрогеологических условиях происходит резкая и частая смена содержаний сульфат-иона в фоновых водах. Последнее обстоятельство, конечно, сильно затрудняет выявление относительно повышенных содержаний сульфат-иона, являющихся гидрохимическими поисковыми признаками. Но столь отрицательное влияние всех этих причин на использование относительно повышенных содержаний сульфат-иона в качестве гидрохимического поискового признака распространяется далеко не на все условия.

Практика гидрогеохимических поисков показала большую эффективность применения как поискового признака сульфат-иона прежде всего в районах, где в силу слабой засоленности пород и отсутствия процессов вторичного соленакпления или интенсивной промытости пород фоновые содержания сульфат-иона невелики и достаточно постоянны. Так, в горных районах Северной Армении, сложенных хорошо промытыми породами, содержание сульфат-иона в фоновых водах весьма равномерно и не превышает 1-2 мг/л, а его содержание в ореольных водах 6-20 мг/л, иногда и более. Также отчетливо выявляются содержания сульфат-иона ореольных вод в районах Приморья, сложенных не-соленосными породами, и при отсутствии или слабом развитии процессов вторичного соленакпления.

В простых гидрогеологических условиях при равномерном повышении содержаний сульфат-иона в фоновых водах в направлении их движения относительно повышенные количества его, связанные с влиянием рудных тел, отчетливо выявлялись при фоновых значениях, достигающих 50-60 мг/л.

Отчетливость выявления аномальных значений сульфат-иона (как и вообще всех гидрохимических поисковых признаков) зависит не только от величины содержания его в фоновых водах, но и от интенсивности обогащения этим компонентом минерализации рудных и ореольных вод, что в первую очередь обуславливается интенсивностью окисления сульфидов.

Таким образом, относительно повышенные содержания сульфат-иона являются ореольным гидрохимическим признаком всех окисляющихся сульфидных месторождений. Основным преимуществом этого гидрохимического признака является возможность использования его для сульфидных окисляющихся месторождений всех металлов, а также и то, что для многих типов месторождений и геологических условий он является единственным поисковым признаком. Очень часто повышенные содержания сульфат-

иона являются основными признаками ореольных вод первичных ореолов рассеяния. Главным недостатком сульфат-иона является то, что для многих условий интерпретация его повышенных содержаний трудна. Применять этот поисковый признак наиболее целесообразно в районах с интенсивно промытыми породами (например, в Сев. Армении) или сложенных несолёными породами при слабом развитии процессов вторичного соленакопления (например, Приморье, Ср. Урал). При поисках интенсивно окисляющихся месторождений (в первую очередь медно-колчеданных) районы, где целесообразно пользоваться этим признаком, значительно расширяются (например, южное окончание Кузнецкого Алатау). В районах с резко выраженным аридным климатом (например, в равнинных участках Центр. Казахстана) применение сульфат-иона как поискового признака нецелесообразно, затруднительно, а иногда и также нецелесообразно применение такого признака в районах, где формирование химического состава рудных и ореольных вод происходит вследствие разрушения зоны вторичных минералов, представленных в основном карбонатами, и где процессы окисления слабо интенсивны (например, в Е. Забайкалье). Для вод восстановительной обстановки этот признак непригоден.

Цинк (ядрок  $5 \cdot 10^{-3}$ , вес %). В рудных, особенно в рудничных водах с очень низким рН содержания цинка могут достигать единиц г/л, в рудных водах свинцово-цинковых месторождений с рН не ниже 5 встречаются содержания в первые сотни мг/л, но чаще единиц мг/л, в ореольных водах - первые сотни и десятки мкг/л очень редко единицы мг/л. В фоновых водах гумидных областей содержания цинка приблизительно десятки мкг/л, иногда единицы мкг/л; в водах аридных областей около сотни мкг/л; иногда в фоновых водах обнаруживаются содержания цинка более высокие, чем в ореольных водах, эти содержания достигают единиц мг/л.

Основным источником повышенных содержаний цинка в рудных и ореольных водах является сфалерит, достаточно распространенный во всех сульфидных месторождениях, а для ореольных вод - смитсонит. Контролем содержания цинка являются его карбонаты, растворимость которых относительно велика, поэтому этот контроль может сказываться при относительно высокой карбонатности окружающей обстановки, характерной для фоновых вод со значением рН примерно выше 7,3 - 7,5.

При рН фоновых вод ниже указанных величин повышенные содержания цинка могут распространяться на расстояния до 1,5 км от рудных тел. В условиях развития процессов вторичного соленакопления в связи со способностью цинка образовывать солевые ореолы (потоки) рассеяния в породах, представленных сравнительно хорошо растворимыми карбонатами, эти расстояния увеличиваются до 10-15 км.

Особенно благоприятны для образования повышенных содержаний цинка, удаленных от рудных тел, грунтовые воды речных долин при условии питания этих вод за счет подземного стока с коренных бортов долин. Расстояния, на которые мигрирует в воде цинк в повышенных содержаниях, также могут увеличиваться при некоторой обогащенности им вмещающих пород. В обоих случаях ореольные воды имеют прерывистый характер.

При рН фоновых вод выше 7,3 - 7,5 повышенные содержания цинка в ореольных водах или не обнаруживаются или обнаруживаются только на расстояниях первых сот метров от рудного тела. Но при наличии зияющих трещин или карстовых пустот благодаря возможности миграции цинка в виде коллоидов повышенные содержания его могут быть обнаружены и в этих условиях на расстояниях до 1 км.



Следует отметить, что оценка высокой карбонатности окружающей обстановки только по приуроченности вод к известнякам может привести к ошибочным выводам. Малая минерализация вод, поступающих в известняки, интенсивный их водообмен могут привести к относительно низкому их pH, а следовательно и к возможности миграции в водах цинка в повышенных содержаниях. Этому также может способствовать обогащенность известняков нерастворимыми осадками, в результате чего за сравнительно короткий геологический период стенки каналов, по которым продвигается вода, оказываются сложными в основном химически малоактивными кремневыми частицами. Миграция цинка в повышенных содержаниях могут также способствовать часто наблюдающиеся в известняках зияющие трещины и небольшие карстовые пустоты.

Обогащение ореольных вод цинком также может происходить при разрушении как самих известняков, так и вторичных ореолов рассеяния, приуроченных к стенкам трещин.

Расстояния, на которые прослеживаются повышенные содержания цинка и их величины, при более интенсивном водообмене уменьшаются.

Повышенные содержания цинка в фоновых водах, не связанные с влиянием рудных тел, обычно наблюдаются в водах, приуроченных к рыхлым отложениям, сложенным обломками полевых шпатов и находящихся в условиях интенсивного химического выветривания.

Таким образом, повышенное относительно фоновых вод содержание цинка является хорошим ореольным гидрохимическим поисковым признаком для большинства сульфидных месторождений. Особенно целесообразно использование этого признака при первом проведении гидрогеохимических поисков в районах, где металлогеническая обстановка позволяет предполагать распространенность в рудных телах повышенных

содержаний цинка и отсутствие повышенных содержаний молибдена. Нерационально использовать этот признак для районов, характеризующихся высокой карбонатностью обстановки и находящихся в стадии относительного покоя.

При использовании повышенных содержаний цинка как гидрохимического поискового признака требуется особое внимание к интерпретации как повышенных содержаний, так и отсутствия их.

Медь (кладж  $1 \cdot 10^{-2}$  вес %). В рудничных водах с очень низким pH содержания меди могут достигать единиц г/л; в рудных водах - обычно единицы, иногда десятки мг/л, иногда сотни мкг/л. В ореольных водах обычное содержание меди десятки мкг/л, иногда сотни мкг/л; в фоновых - единицы мкг/л, иногда первые десятки мкг/л. Основным источником повышенных содержаний меди в рудных и ореольных водах является халькопирит и некоторые другие её сульфиды (халькозин, блеклые руды и т.п.).

Контролем содержания меди в водах являются гидроокиси и основные карбонаты и сульфаты её, растворимость которых значительно ниже карбонатов цинка, и поэтому как содержание, так и расстояние, на которое мигрирует медь, в повышенном содержании значительно ниже, чем для цинка.

Хотя сульфиды меди распространены во всех сульфидных месторождениях и хорошо окисляются особенно при наличии пирита, отчетливо выраженные её повышенные содержания наблюдаются только для рудных вод интенсивно окисляющихся рудных тел (в первую очередь медноколчеданных). Для рудных вод слабоокисляющихся рудных тел или сформированных под влиянием разрушающихся зон выщелачивания и вторичных минералов эти повышения выражаются незначительными величинами.

Наиболее часто повышенные содержания меди не выходят за пределы рудных вод. Только при относительно пониженных pH (примерно ниже 6,5-6,8) фоновых вод и богатстве их органическими веществами и низким pH самих ореольных вод, повышенные содержания меди наблюдаются в последних.

Эти условия обычно характерны для грунтовых вод гумидных областей и для ореольных вод медноколчеданных месторождений. Повышенные содержания меди в водах за счет вторичных солевых ореолов в породах не образуются в связи с очень плохой растворимостью гидроксидов основных карбонатов и сульфатов меди и распространенности среди вторичных минералов практически не растворимых окислов и самородной меди.

В силу этих причин наиболее часто расстояния, на которые распространяются повышенные содержания меди от рудных тел, не превышают первых сотен метров, и только при благоприятных условиях достигают 1 км. В водах с большим количеством органического вещества и миграции в связи с этим меди в виде комплексных ионов, ее повышенные содержания в водах часто образуются на значительном удалении от рудного тела. Расстояние этих мест в основном зависит от распределения в водах органического вещества и выпадения его в виде пленок вместе с железом ("ржавчина"). Г.А. Вострокнутов (доклад на межведомственном совещании по гидрогеохимическим методам поисков в Томске - 1960 г.) по результатам исследований, проводимых на Ср. Урале, отмечает, что повышенные содержания меди, находящейся в водах в виде простых ионов, дают вокруг рудного тела ореолы небольшой протяженности. Повышенные содержания комплексных ионов меди (определенных спектральным анализом при сжигании сухого остатка) дают весьма неопределенные, большой протяженности, трудно интерпретируемые ореолы.

В большинстве случаев повышенное, относительно фоновых вод, содержание меди используется как рудный гидрохимический поисковый признак медноколчеданных рудных тел. В благоприятных условиях (слабая карбонатность окружающей обстановки, обогащенность вод органическими веществами), эти содержания могут быть использованы и как ореольный гидрохимический поисковый признак. Относительно повышенные содержания меди могут быть использованы и для поисков месторождений некоторых других формаций (медно-никелевых, медно-медно-молибденовых, порфириновых, некоторых полиметаллических). Свинец (кладок  $1.6 \cdot 10^{-3}$  вес %). Даже в рудных водах с очень низким pH содержания свинца не превосходят единиц мг/л. В рудных водах эти содержания измеряются сотнями, а иногда и десятками мкг/л, в ореольных водах - десятками и иногда единицами мкг/л, в фоновых водах - первыми единицами мкг/л.

Основным источником повышенных содержаний свинца в рудных и ореольных водах является галенит, распространенный в большинстве сульфидных месторождений, и церуссит.

Произведение растворимости карбонатов свинца, являющихся контролем его содержания в водах, значительно меньше таковой карбонатов цинка, поэтому даже при небольшом увеличении карбонатности обстановки в водах свинец в повышенном содержании не может мигрировать в водах. Обычно повышенные содержания свинца не выходят за пределы распространения рудных вод. Только при наличии зияющих трещин и пустот, а также при высоком содержании углекислоты в водах эти повышенные содержания могут обнаруживаться в ореольных водах.

В отдельных случаях при наличии карстовых пустот повышенные содержания свинца в водах были обнаружены в нескольких километ-

рах от рудного тела. Нахождению повышенных содержаний свинца в ореольных водах иногда способствует непромышленная обогащенность свинцом вмещающих пород.

Таким образом, повышенные относительно фоновых вод содержания свинца являются рудными гидрохимическими поисковыми признаками как свинцовых месторождений, так и других сульфидных месторождений, для которых характерно присутствие галенита.

Только в относительно редких случаях свинец может являться ореольным гидрохимическим поисковым признаком. Весьма вероятно, что повышенные содержания свинца являются хорошим гидрохимическим поисковым признаком для вод восстановительной обстановки и для вод, имеющих высокую минерализацию и хлоридный состав, при условии недонасыщенности этих вод карбонатом кальция.

Все гидрохимические поисковые признаки делятся на прямые и косвенные. К прямым относятся аномальные содержания в водах металлов, определяющих промышленную ценность рудных тел (например, аномальные значения меди в водах для меднорудных тел, аномальные содержания молибдена для молибденовых месторождений и т.д.).

К косвенным гидрохимическим поисковым признакам относятся все изменения химического состава подземных вод, вызываемые специфичностью состава сульфидных рудных тел. Сюда прежде всего следует отнести: повышенные содержания сульфат-иона и пониженные значения pH, вызываемые воздействием на воду окисляющихся сульфидов; повышенную минерализацию воды и повышенные содержания элементов, входящих в состав минералов, слагающих жильную массу и вмещающие рудные тела породы; повышенные содержания металлов-спутников. Для месторождений некоторых металлов (например, золота), плохо мигрирующих в водах возможны гидрохимические поиски только с применением косвенных признаков.

Использование косвенных гидрохимических поисковых признаков позволяет при работе в неизученных районах выявить признаки гидротермальных месторождений ряда металлов с помощью значительно меньшего количества химических определений, чем это потребовалось бы при использовании прямых признаков. Многие косвенные признаки более устойчивы, чем прямые, и поэтому площади их распространения больше. В иных геолого-гидрогеологических условиях и для других типов месторождений косвенные признаки характеризуются более локальным распространением.

Таким образом, комбинируя использование прямых и косвенных признаков можно добиться значительного увеличения эффективности гидрогеохимических поисков.

В зависимости от геолого-гидрогеологических условий и прежде всего от стадии окисления сульфидных рудных тел (окисленные, неокисленные, зона вторичных минералов и т.д.) изменяется отчетливость выявления тех или иных гидрохимических признаков. Значение гидрохимических поисковых признаков зависит от масштаба и детальности работ. При общих обзорных работах наибольшее значение приобретают ореольные поисковые признаки, позволяющие выявлять обширные площади с измененным химическим составом подземных вод. При детальных работах особое значение приобретают рудные поисковые признаки, посредством которых в пределах выявленных относительно обширных площадей устанавливаются участки возможного местонахождения рудных тел. Поэтому все гидрохимические поисковые признаки можно подразделить на ведущие и вспомогательные. В этом отношении значение одного и того же признака может изменяться в зависимости от геолого-гидрогеологических условий изучаемого района и от степени детальности работ.

Ведущими часто могут быть косвенные гидрохимические признаки. Прежде всего это типично для обзорных работ, проводимых для поисков месторождений ряда металлов. Но и при поисках месторождений одного металла в ряде случаев в качестве ведущего целесообразно выбрать косвенные гидрохимические поисковые признаки (рудные и ореольные). Так, например, условия Южного Урала неблагоприятны для сохранения повышенных содержаний меди в растекающихся рудных водах. В то же время здесь широко распространены породы, имеющие непромышленную обогащенность медью, которая обуславливается наличием в породах рассеянного халькопирита и пирита. Рудные тела медных месторождений представлены широкой ассоциацией минералов и химических элементов. Здесь всегда в повышенных содержаниях присутствует молибден и мышьяк. Повышенное содержание молибдена в водах является очень хорошим устойчивым ореольным гидрохимическим поисковым признаком, повышенные содержания мышьяка — хорошим рудным гидрохимическим признаком. Таким образом, в условиях Южного Урала повышенные содержания меди в водах не всегда признак присутствия рудных тел. В то же время повышенные содержания меди в водах могут появляться вне связи с влиянием рудных тел, тогда как молибден и мышьяк в повышенных содержаниях всегда сопровождают рудные тела и появляются только в результате их влияния. Совершенно очевидно, что в этих условиях лучшим ведущим признаком для поисков меднорудных месторождений будут не повышенные содержания меди, а повышенные содержания молибдена и мышьяка.

Следует отметить, что использование одного гидрохимического поискового признака целесообразно только в хорошо изученных районах при детальных работах (см. гл. II "Гидрохимические аномалии").

Несколько особо стоит вопрос о гидрохимических поисковых признаках при мелкомасштабных работах, производимых для оценки перспективности площадей по возможному наличию рудных месторождений, а также для выявления характерных геохимических и металлогенических особенностей этого района.

В данном случае наиболее целесообразно использование полуколичественного спектрального анализа, при помощи которого в одной пробе определяется большое количество элементов. Эта особенность спектрального анализа позволяет использовать в качестве гидрохимического поискового признака характер ассоциации компонентов минерализации. В то же время недостаточная точность полуколичественного спектрального анализа часто вынуждает использовать не величины, содержания отдельных элементов, а проценты их распространенности.

В подземных водах районов, где имеются гидротермальные месторождения, повышается распространенность элементов, характерных для этих месторождений. Сравнивая данные по средней распространенности элементов в грунтовых водах районов сульфидных месторождений и безрудных районов можно в зависимости от увеличения их распространенности в водах районов сульфидных месторождений ориентировочно выделить следующие категории (см. табл. 3).

Повышение распространенности элементов в водах может происходить не только под влиянием рудных тел. В связи с изменением кларковых содержаний элементов в различных породах изменяется их распространенность и в водах, приуроченных к этим породам. Так, в водах, приуроченных к основным изверженным породам, увеличивается распространенность меди и никеля, в водах кислых изверженных пород — молибдена и олова и т.д.

Но в зависимости от причин, вызывающих эти изменения распространенности (изменения петрографического состава пород, наличие

Таблица 3  
Категории элементов в зависимости от увеличения их распространённости в грунтовых водах районов сульфидных месторождений

Категории	Отношение процента распространённости элементов в грунтовых водах к проценту в рудных районах	Распространение элементов
Большого увеличения распространённости	более 4,7:1	высокое / >50% / низкое / <50%
Среднего увеличения распространённости	от 4,7:1 до 3,5:1	
Слабого увеличения распространённости	от 3,5:1 до 1,2:1	
Отсутствия увеличения распространённости	меньше 1,2:1	

*Sr, Mo, As, Co, Sb, Cd, W, Bi, Ag, Be, Ga, Cu, Zn, V*

Таблица 4  
Категории распространённости элементов, определенных количественным спектральным анализом в маломинерализованных грунтовых водах

Категории распространённости элементов	Широкораспространенные	Распространенные	Ограниченно распространённые	Редко встречающиеся
	> 90% /	190-25% /	125-5% /	< 5% /
Элементы	<i>Mn, Fe, Sr, Al, Fe</i>	<i>Cu, Zn, Mo, Ag, Ba, Cr, V, Ni*</i>	<i>Sr, Ga, Be, Zn, As</i>	<i>Cd, Sb, Cd, Bi, W, Ge, In</i>

\* / могут иметь распространённость выше 60%

гидротермальных и погматитовых жил и т.д.) изменяется и характер ассоциации элементов, распространённость которых увеличивается.

Некоторые элементы (*As, Co, Sb, Ga, Be, Be*), как правило, в подземных водах, вне районов распространения гидротермальных месторождений отсутствуют, и уже само наличие этих элементов в водах является показателем повышенной распространённости. Для других элементов такую повышенную распространённость можно установить, сравнивая их распространённость в водах на различных участках изучаемого района. При сравнении необходимо учитывать изменения гидрогеологических условий. Так, например, на участках, где увеличивается интенсивность водообмена, уменьшается распространённость всех элементов.

В других случаях может произойти изменение степени распространённости не всех элементов, а только некоторых. Так, при увеличении минерализации воды, сопровождаемой повышением содержания гидрокарбонат-иона, уменьшается распространённость элементов, контролем содержания которых являются карбонаты; понижение pH воды приводит к увеличению распространённости элементов, контролем содержания которых является гидроокиси и карбонаты.

Следует отметить, что для элементов, относящихся к группе широкораспространённых (см. табл.4), устанавливать изменения распространённости затруднительно. Для этих элементов вместо общей распространённости приходится устанавливать распространённость их повышенных содержаний (например, для титана категории спектрального анализа "есть" и выше).

Многие из перечисленных в настоящей главе гидрохимических поисковых признаков использовались как при опытных гидрогеохимических исследованиях, проводимых для разработки методов поисков рудных месторождений, так и при проведении самих поисков.

Гидрогеохимические методы применяются не только для поисков сульфидных рудных тел, но и для поисков месторождения урана и некоторых рассеянных элементов.

В табл. 5 сведены все используемые в настоящее время на практике гидрохимические поисковые признаки с указанием характера их использования и методов определения соответствующих компонентов минерализации подземных вод.

Таблица 5

Гидрохимические поисковые признаки, используемые для поисков сульфидных рудных месторождений, а также месторождений урана и рассеянных элементов

Гидрохимический поисковый признак	Способ определения	Применение
Повышенные относительно фоновых вод содержания	В лаборатории для гидрохимических поисков рудных месторождений	Косвенный ореольный признак всех окисляющихся сульфидных месторождений, используется в частности, для разбраковки водоисточников при отборе проб на широкий круг определений; в благоприятных условиях - для оконтуривания рудных тел. Для вод с восстановительными условиями не используется.
Mo	То же	Ореольный признак; прямой для месторождений молибдена, косвенный для месторождений редких металлов, меди и некоторых других.

	2	3
		Используется для разбраковки водоисточников при отборе проб на широкий круг определений
Zn	То же	Ореольный признак, прямой для месторождений цинка и косвенный для ряда сульфидных месторождений
Cu	То же	Рудный признак, прямой для месторождений меди, косвенный для многих сульфидных месторождений. На Урале и Салаире используется и как ореольный признак
As	То же	Косвенный ореольный и рудный признак большинства сульфидных месторождений
Сумма металлов Zn + Cu + Pb ( по дитизону )	То же	Тот же признак. Используется для разбраковки водоисточников при отборе проб для широкого круга определений
		В основном используется при исследованиях, имеющих рекогносцировочный характер

1	2	3
Общая металлоносность воды	Рассчитывается как сумма металлов, определенных спектральным анализом водного концентрата	Косвенный ореольный и рудный признак для месторождений.
<i>Pb</i>	При помощи дитизона с цианистым калием, количественного спектрального анализа и полярографического метода в стационарных лабораториях	Прямой рудный признак свинцовых и полиметаллических месторождений в отдельных случаях ореольный признак этих же месторождений
<i>Ni</i>	Калориметрически в полевых и стационарных лабораториях	Прямой ореольный признак месторождений никеля и некоторых сульфидных месторождений, образующих агрессивные ореольные воды и залегающих в основных породах
<i>Cr</i>	Химически в полевых и стационарных лабораториях или спектральным анализом	Прямой ореольный и рудный признак месторождений хрома и как ореольный признак некоторых сульфидных месторождений, образующих агрессивные ореольные воды и залегающие в основных породах
<i>Ti</i>	Калориметрически в полевых и стационарных лабораториях или спектральным анализом	Ореольный и рудный признак - прямой для месторождений титана,

1	2	3
		косвенный для месторождений некоторых рассеянных элементов ( <i>Be, Zr, Nb</i> ) Кроме того, ореольный для некоторых сульфидных месторождений
<i>Li</i>	Спектральный анализ концентратов, полученных при помощи катионитов	Прямой признак месторождений лития и ореольный для некоторых сульфидных месторождений
<i>Ba</i>	Спектральный анализ сухих остатков воды	То же, но для месторождений бериллия
<i>Nb</i>	Спектральный анализ сухих остатков и концентратов воды	Прямой признак для месторождений ниобия
<i>Zr</i>	То же	То же для месторождений циркония
<i>Mn</i>	Калориметрически с предварительным концентрированием катионитов	Косвенный ореольный признак некоторых рассеянных элементов и сульфидных месторождений, для последних иногда может исползоваться как рудный признак
<i>Be</i>	При помощи лаборатории для гидрохимических поисков рудных месторождений	Косвенный рудный признак месторождений некоторых рассеянных элементов, приуроченных к хлорсодержащим минералам (например, содалит как ореольный признак гидротермальных месторождений) и для интерпретации поискового значения аномальных содержаний <i>SO<sub>4</sub></i> ,

	1	2	3
<i>U</i>	Люминесцентным методом	Прямой ореольный и рудный признак месторождений урана	
<i>Ra</i>	Радиохимическим методом	Косвенный признак месторождений урана	
<i>Rn</i>	Радиометрическим методом	Косвенный ореольный признак месторождений урана	
Наличие редко встречающихся элементов ( <i>Sr, Be, Co, Sn</i> и др.), их повышенная относительно фоновых вод распространенность или величина содержания	Спектральный анализ сухих остатков и концентратов воды	Прямой и косвенный рудный признак сульфидных месторождений	
Повышенное относительно фоновых значений — коэффициент пропорциональности $SO_4 / HCO_3$	При помощи лаборатории для гидрохимических поисков рудных месторождений	Для интерпретации поискового значения относительно повышенных содержаний сульфат-иона в районах с очень слабоминерализованными водами (примерно до 100 мг)	
$SO_4 / Ce$	То же	То же, при более высокой минерализации	

	1	2	3
$ce/HCO_3$	При помощи лаборатории для гидрохимических поисков рудных месторождений	Для интерпретации поискового значения относительно повышенных содержаний хлор-иона, при поисках месторождений рассеянных элементов в районах со слабоминерализованными водами	
Пониженные относительно фоновых значений pH воды	То же	Косвенный рудный признак окисляющихся сульфидных месторождений. При наличии интенсивно окисляющихся сульфидных тел и при слабом движении маломинерализованных подземных вод в силикатных породах. Может быть и ореольным признаком	
Повышенная относительно фоновых значений величины общей $SO_4, Ce, Ca$ и $Mg$ , солеминерализации воды	Вычислением из величины содержания $HCO_3$ , $SO_4, Ce, Ca$ и $Mg$ , солеминерализации вод мером, резистивметром	То же	
Изменение химического типа подземных вод	При помощи полевой гидрохимической лаборатории	Косвенный рудный признак окисляющихся сульфидных месторождений. При наличии интенсивно окисляющихся тел и при слабом движении маломинерализованных подземных вод в силикатных породах, может быть и ореольным признаком	



ГЛАВА II ГИДРОХИМИЧЕСКИЕ АНОМАЛИИ

Участки водоносных горизонтов или поверхностных водотоков и водоемов, где обнаруживается аномальный характер химического состава вод, называются гидрохимическими аномалиями.

Эти аномалии могут возникнуть по следующим причинам: 1) в силу наличия рудных тел и, кроме того, первичных и вторичных ореолов рассеяния месторождений в породах (в данном случае аномалии представляют собой проявление рудных или ореольных вод того или иного типа или их отдельных участков); 2) в силу влияния повышенной, но не промышленной рассеянной концентрации в породах отдельных элементов, интенсивных процессов химического выветривания, концентрирования водных растворов вследствие испарения (современные процессы соленакпления перелива вод из много водоносного горизонта, в первую очередь подпитывания грунтовых вод водами зон тектонических нарушений); и 3) искусственно (сброс вод, откачиваемых из разведочных и эксплуатационных выработок, с обогатительных фабрик; сброс вод предприятиями химической промышленности, загрязнение почв и пород химическими элементами в связи с транспортировкой руд, наличие отходов породы, извлеченных из горных выработок, складов руды, дымов металлургических и химических предприятий, внесение микрорудобрений).

Классификация гидрохимических аномалий<sup>1)</sup> Таблица 6

Типы	Классы	Виды
Гидрохимические аномалии	Рудные <sup>2)</sup>	Рудных тел
		Измененных пород
	Безрудные	Природные
	Искусственные	Рассеянной минерализации Интенсивного химического выветривания Концентрации при испарении Измененной геохимической обстановки Тектонических зон Перелива вод из другого водоносного горизонта Загрязненности вод Загрязненности почв и пород Загрязненных дымов

Примечание: 1) В разработке классификации принял участие Н.И. Плотников

2) А.А. Смирнов и А.В. Щербаков предложили названия "истинные и ложные аномалии", указывая при этом, что истинные аномалии связаны с рудными телами, а ложные - не связаны с ними. Из названий, употребляемых в предлагаемой классификации, это обстоятельство видно непосредственно, толкование же истинности и ложности аномалий может быть самым различным.

Для рудных гидрохимических аномалий аномальность химического состава вод определяется гидрохимическими поисковыми признаками.

Различают простые и комплексные гидрохимические аномалии. Для первых характерны изменения одного гидрохимического поискового признака, для вторых - нескольких признаков. Аномальные значения гидрохимических поисковых признаков, характеризующие гидрохимические аномалии могут быть и выше и ниже фоновых, поэтому различают аномалии положительные (аномальные значения гидрохимических поисковых признаков выше фоновых) и отрицательные (аномальные значения гидрохимических поисковых признаков ниже фоновых).

Положительные гидрохимические аномалии встречаются значительно чаще и изучены лучше, чем отрицательные.

Интенсивность проявления гидрохимических аномалий определяется степенью контрастности аномалии; могут быть контрастные и слабоконтрастные аномалии. Степень контрастности определяется отношением аномальных величин содержания гидрохимических поисковых признаков к их фоновым значениям. Так, участок, для которого содержание меди в грунтовых водах равно 0,1 мг/л, при фоновых значениях 0,01 мг/л и при отсутствии других гидрохимических поисковых признаков следует назвать "простой положительной гидрохимической аномалией по меди десятикратной контрастности".

Размеры и конфигурации площади гидрохимической аномалии бывают самыми различными. Площадь аномалии может достигать сотен и тысяч квадратных метров, а иногда и десятков квадратных километров. По своей конфигурации аномалии могут представлять собой точку, линию или площадь, вытянутую в одном каком-либо направлении или близкую к кругу и квадрату.

Строение площади гидрохимических аномалий довольно разнообразно. Встречаются гидрохимические аномалии с однородным строением, когда на всей площади проявляются аномальные значения одних и тех же гидрохимических поисковых признаков, контрастность которых почти одинакова. Наряду с этим очень часто на площади проявления одной и той же аномалии происходит интенсивное изменение как гидрохимических поисковых признаков, имеющих аномальное значение, так и контрастности аномалий. Эти изменения могут закономерно развиваться в одном каком-либо направлении или же прослеживаться в виде отдельных участков, пятен, с резко увеличенным значением тех или иных гидрохимических поисковых признаков на общей площади распространения их повышенных против фоновых значений. В этом случае гидрохимические аномалии

называются сложными; на их площади при проведении более детальных исследований могут быть выделены участки простых гидрохимических аномалий.

Одна и та же причина может обусловить возникновение нескольких гидрохимических аномалий, достаточно четко изолированных друг от друга участками распространения фоновых вод. В этом случае может быть применено понятие "поле гидрохимических аномалий". Гидрохимические аномалии могут занимать всю площадь распространения рудных и ореольных вод, вызвавших их возникновение, или отдельные части этой площади.

Иногда в водах озер, расположенных в районах, где широко распространены разрушающиеся сульфидные месторождения, отмечают повышенные значения одного или нескольких гидрохимических поисковых признаков. Такие повышенные значения обусловлены не выклиниванием в районе озера ореольных или рудных вод, а концентрированием в озере продуктов разрушения месторождений, сносимых водой и ветром со всей территории района.

Такие гидрохимические аномалии свидетельствуют об общей перспективности этого района и могут быть названы районными.

Приведенная выше классификация (см. табл.6) в первом приближении дает возможность определить характерные признаки каждого из классов гидрохимических аномалий и основные показатели их пространственных соотношений с рудными телами или с другими источниками образования этих аномалий. Для рудных гидрохимических аномалий такая характеристика приведена в табл.7.

Большое влияние на характер гидрохимических аномалий, оказывают условия формирования и распространения рудных и ореольных вод, являющихся причиной возникновения этих аномалий. Так, карбонатность окружающей обстановки приводит к резкому уменьшению

Признаки гидрохимических аномалий		прочие	Возможное расположение рудных тел
гидрохимические поисковые признаки в условиях:			
некарбонатных	карбонатных		
2	3	4	5
<p>аружение <i>Cd, Co, Bi, Sn, Zn</i>, повышенные содержания <i>Pb, Mo</i>. резко повышенное содержание <i>SO<sub>4</sub></i>. <i>Zn</i> 1<sup>+</sup> высокая величина pH, пониженная или пониженная причина минерализации, сульфатно-кальциевый или сульфатно-натриевый тип воды. Комплекс металлов, имеющих повышенное содержание в водах, приближается к химическому составу рудных тел</p>	<p>Содержание <i>SO<sub>4</sub></i> резко повышено, остальные компоненты являются очень слабыми и разрозненно, но комплекс металлов, имеющихся хотя и незначительно повышенные содержания в воде, приближается к химическому составу рудных тел.</p>	<p>Аномалия контрастная, но занимает локальные участки; зональность не наблюдается</p>	<p>Площадь расположения рудных тел находится внутри контура гидрохимической аномалии или в непосредственной близости от нее</p>
<p>вышенные содержания <i>Zn, Mo</i> в некоторых водах. пониженный pH, сульфатно-натриевый тип воды, комплекс металлов, имеющих повышенные содержания в водах, значительно отличается от химического состава</p>	<p>Аномальные содержания <i>SO<sub>4</sub></i></p>	<p>Обычно наблюдается четко выраженная зональность. Зоны располагаются по направлению современного движения поверхностных и подземных вод</p>	<p>Рудные тела располагаются у верхней /от отношению к направлению современного стока/ границы гидрохимической аномалии.</p>

2	3	4	5
<p>рудных тел, как вследствие отсутствия некоторых характерных для рудных тел металлов <i>Cd, Co, Bi, Sn, Zn</i> и др. так и вследствие присутствия металлов, характерных для вмещающих пород</p>	<p>Аномальные содержания <i>As, Bi, Cl, Be, Li</i></p>	<p>гидрохимические аномалии этого класса /без влияния вторичных ореолов рассеяния рудных месторождений/ наблюдаются в районах со слабым развитием рыхлых отложений</p>	<p>Рудные тела отделены от аномалии участками распространения фоновых вод; пространственное соотношение аномалии и рудных тел не связано с направлениями стока</p>
<p>Аномальные содержания <i>SO<sub>4</sub></i>, другие ореоловые гидрохимические поисковые признаки, повышенные содержания <i>As, Bi, Cl, Cu, Be, Li</i></p>	<p>Аномальные содержания <i>SO<sub>4</sub></i></p>	<p>Очень часто наблюдается линейная вытянутость аномалий, не связанная с направлением движения современных вод. Контрастность аномалий ниже, чем для ореольных.</p>	<p>Рудные тела отделены от аномалий участками распространения фоновых вод. Пространственные соотношения рудных тел и аномалий определяются направлением современного и древнего стока.</p>
<p>Аномальные содержания <i>Zn</i> для механических осадков - <i>Ca, Fe</i>, кислая pH</p>	<p>Аномальные содержания <i>SO<sub>4</sub></i></p>	<p>Распространены при наличии рыхлых отложений. Очень часто аномалии приурочены к долинам рек, к местам резкого выполаживания рельефа, к депрессиям, выполненным мелкоземом, к местам сменя крупнообломочных покровных отложений мелкообломочными.</p>	<p>Рудные тела отделены от аномалий участками распространения фоновых вод. Пространственные соотношения рудных тел и аномалий определяются направлением современного и древнего стока.</p>

всех признаков необязательно.

количества гидрохимических поисковых признаков аномалий, к уменьшению контрастности и площади распространения. Изменение минералогического состава рудных тел, интенсивности их окисления, типы вторичных ореолов (потоков) рассеяния в породах (солевые и механические ореолы) также в значительной мере влияют на характер гидрохимических аномалий.

Структура, текстура и морфология рудных тел оказывают большое влияние на размеры и конфигурацию площадей аномалий и на их контрастность. Так, например, вкрапленные месторождения, приуроченные к пологопадающим пластам, образуют обширные гидрохимические аномалии слабой контрастности, с широким развитием аномалий рудных вод и со сравнительно ограниченными размерами аномалий ореольных вод. Для крутопадающих рудных тел штокверкового типа обычно отмечаются резко контрастные, но малого размера аномалии. Если такое рудное тело расположено в области питания подземных вод или вблизи неё в некарбонатной среде, то могут образоваться обширные аномалии ореольных вод.

Большое значение также имеет приуроченность гидрохимических аномалий к тому или иному типу подземных вод. Это обстоятельство определяет в значительной мере величину и конфигурацию площади аномалии. Так, например, приуроченность аномалий к водам региональных тектонических разломов обуславливает линейность её проявления. При прочих равных условиях площадь гидрохимической аномалии сокращается, и гидрохимические поисковые признаки приобретают более однообразный характер в случае увеличения минерализации подземных вод и наличия восстановительной обстановки. Приуроченность гидрохимических аномалий к площадям с резкой сменой условий (например, карбонатности или величины минерализации вод) приводит к причудливости их очертаний. Форма и размер площади гидрохимической аномалии зависит также от

расположения опробованных водоисточников.

Все эти условия в совокупности приводят с одной стороны к большому разнообразию гидрохимических аномалий, а с другой к тому, что очень схожие между собой аномалии могут быть связаны с различными рудными телами и могут находиться с ними в различных пространственных соотношениях.

Влияние комплекса условий на характер гидрохимических аномалий можно проиллюстрировать несколькими типичными примерами.

Так, на территории одного из меднорудных месторождений Среднего Урала, представленного слесными рудными телами, залегающими на глубине 100-120 м, отмечено проявление трех гидрохимических аномалий, отделенных друг от друга участками развития фоновых вод. Расположение этих аномалий по азану на рис. I.

Водоисточники I29, I30, I30 а, I07, I08, I19, I19 а, I14 и I14 а вскрывают грунтовые воды, залегающие на глинистой коре выветривания. Рудные тела не соприкасаются с этими грунтовыми водами (см. профиль на рис. I) и поэтому не могут непосредственно оказывать влияние на их химический состав. Однако наличие повышенных содержаний меди в воде источников I07, I29 и I30 а объясняется тем, что на участках расположения этих источников кора выветривания перекрывает альбитоиды с повышенным содержанием меди, которые контролируют рудные тела. Следовательно, по этим водоисточникам оконтуривается гидрохимическая аномалия первичных ореолов рассеяния.

Водоисточники I48, I27а, I16, I15 характеризуют водоносные горизонты, залегающие ниже глинистой коры выветривания и соприкасающиеся с рудными телами. Этот же водоносный горизонт дренируется рекой, расположенной на западе района, поэтому повышенные содержания меди в воде источников I48, I27 а, I15 и I16, а

также в реке (точки III и I27) позволяют оконтурить две гидрохимические аномалии рудных тел (см. рис.1).

На одном из медно-рудных месторождений Южного Урала рудные тела отображаются тремя гидрохимическими аномалиями (рис.2). Но отделены эти аномалии друг от друга не фоновыми водами, а площадями с отсутствием выходов водоисточников; кроме того, они различаются между собой по составу комплекса гидрохимических поисковых признаков. В водоисточниках, по которым оконтурена аномалия "А", обнаружены высокие содержания  $Cu, Pb, Zn, SO_4$ . Высокие содержания меди и свинца являются рудными гидрохимическими поисковыми признаками. Поэтому аномалия "А" - аномалия рудных вод. Аномалии "Б" и "В" характеризуются такими ореольными гидрохимическими поисковыми признаками, как повышенные содержания цинка и сульфат-иона. Площадь этих аномалий соответствует площади распространения ореольных вод, образовавшихся вследствие растекания рудных вод. Отсутствие повышенных содержаний сульфат-иона в пределах площади гидрохимической аномалии "В" связано с тем, что эти воды приурочены к заболоченным пространствам, где в условиях Южного Урала очень часто наблюдается интенсивный процесс десульфирования, способствующий разрушению высоких содержаний сульфат-иона.

Разобченность единой аномалии на три отдельных участка объясняется тем, что водоисточники, из которых отбирались пробы воды, приурочены к отдельным депрессиям земной поверхности, между которыми отсутствуют выходы вод для опробования.

Во многих случаях одна и та же гидрохимическая аномалия охватывает участки развития рудных и ореольных вод, образовавшихся как вследствие растекания рудных вод, так и под влиянием вторичных ореолов рассеяния месторождений в породах. В результате

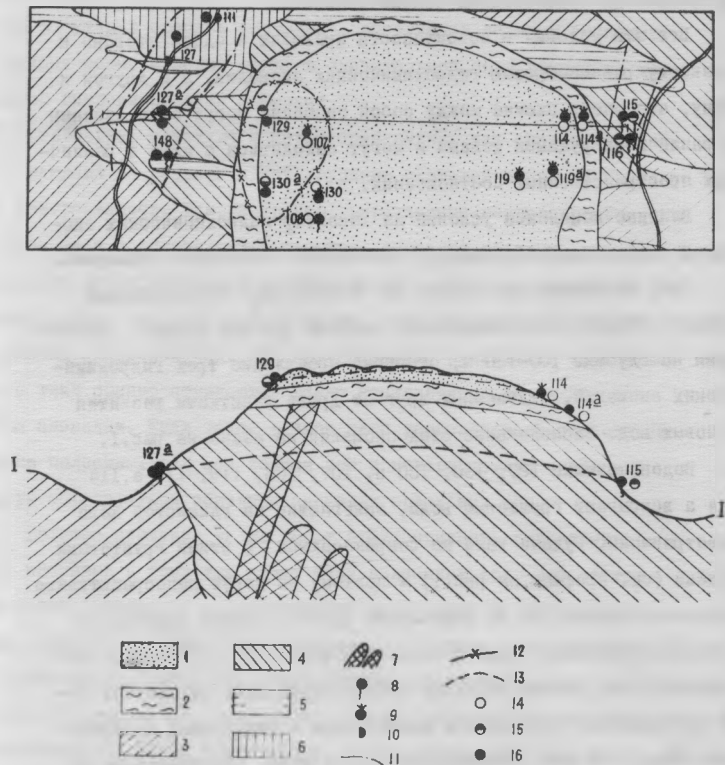


Рис. 1. Схематическая карта и профиль гидрохимических аномалий, обусловленных наличием в районе слепых меднорудных тел (Средний Урал) I - песчаные элювиальные отложения; 2 - глинистое образование коры выветривания; 3 - порфириты; 4 - агломератные туфы; 5 - альбитофиты; 6 - порфириты; 7 - меднорудные тела; 8 - родник; 9 - осоковое болото; 10 - поверхностный поток; контуры гидрохимических аномалий; 11 - рудных тел; 12 - первичных ореолов; 13 - уровень грунтовых вод. Содержание меди в водоисточниках (в мг/л): 14 - меньше 0,05; 15 - от 0,05 до 0,1; 16 - более 0,1

общая закономерность уменьшения содержания компонентов минерализации, являющихся гидрохимическими поисковыми признаками, по мере удаления от рудных тел нарушается. На площади такой аномалии наблюдаются отдельные точки и участки с более высокими содержаниями компонентов минерализации, являющимися гидрохимическими признаками.

В качестве примера можно привести схему гидрохимических аномалий свинцово-цинковых месторождений, расположенных на северо-западном окончании Кармазаварских гор в Средней Азии. (рис. 3).

Довольно часто гидрохимические аномалии бывают отделены от места расположения <sup>рудных</sup> тел площадями распространения фоновых вод. На Южном Урале, в некоторых районах меднорудные тела приурочены к отдельным сопкам, сложенным эффузивами  $S_2 + D_1$ . Здесь гидрохимические аномалии проявляются у подножия сопок; в воде же источников, выходящих выше по склону сопок, повышенные содержания характерных компонентов минерализации в подземных водах не обнаруживаются. Условия, определяющие такое строение гидрохимических аномалий, схематично отображены на рис. 4. Пространственные соотношения гидрохимической аномалии с рудным телом весьма разнообразны.

Одно рудное тело или группа их может отражаться несколькими гидрохимическими аномалиями, но наряду с этим часто одна и та же гидрохимическая аномалия может быть сформирована под влиянием различных рудных тел. Так, например, гидрохимическая аномалия, приуроченная ко дну эрозионной депрессии (например, к долине реки), может явиться результатом влияния рудных тел, расположенных выше по склону долины или на водоразделе, или же приурочена

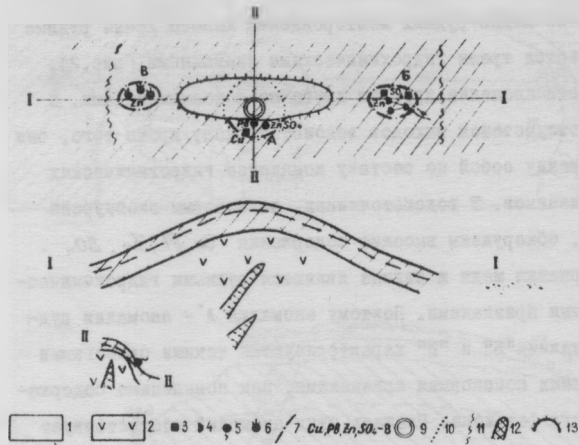


Рис. 2. Схема расположения гидрохимических аномалий меднорудных тел (месторождение Южного Урала)

I - четвертичные суглинки; 2 - эффузивные палеозойские породы; места отбора проб: 3 - из колодезь, 4 - из ручьев, 5 - из родников, 6 - из оолот; 7 - контуры гидрохимической аномалии; 8 - аномальное содержание в подземных водах обозначенных компонентов минерализации; 9 - проекция на земную поверхность места расположения рудного тела; контур возможного расположения вод; 10 - рудных, II - ореольных; 12 - рудные тела; 13 - контуры возвышенности

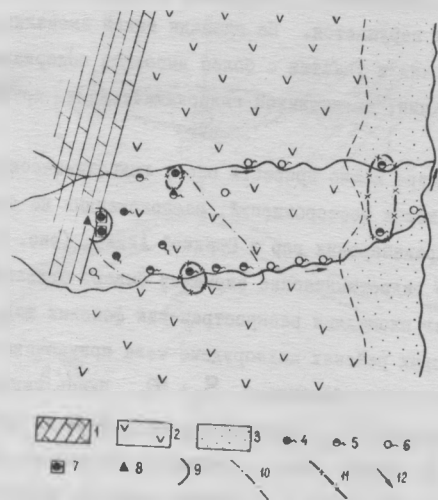


Рис. 3. Схема гидрохимических аномалий рудных вод и вод вторичных ореолов рассеяния свинцово-цинковых месторождений (Ср. Азия)

I - палеозойские известняки; 2 - палеозойские кислые эффузивные породы; 3 - аллювиальные отложения, выполняющие долину магистральной реки; водосточники с содержанием цинка (в мкг/л): 4 - больше 100; 5 - от 20 до 100; 6 - меньше 20; 7 - повышенное содержание в водах других элементов; 8 - свинцово-цинковое месторождение; контуры гидрохимических аномалий вод: 9 - рудных, 10 - ореольных, II - вторичных ореолов рассеяния месторождения; 12 - направление стока

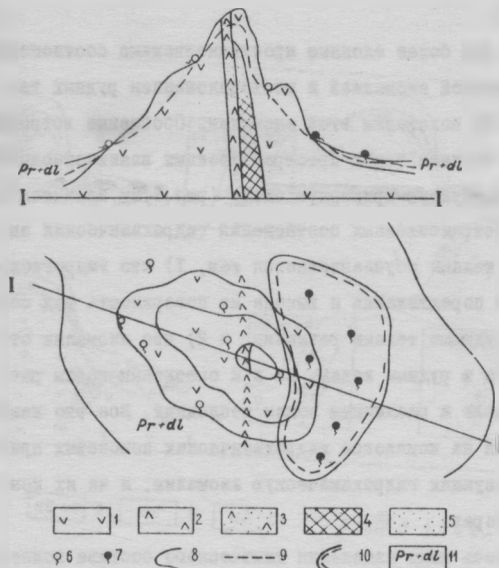


Рис. 4. Схема расположения рудной гидрохимической аномалии рудных вод, приуроченных к изолированной возвышенности в районе Южного Урала

I - сильно трещиноватые спилиты; 2 - плотные практически водонепроницаемые альбитофиры; 3 - альбитофиры, сильно разрушенные в результате окисления, и поэтому водопроницаемые; 4 - меднорудные тела; 5 - то же, полностью выщелоченные; источники со значениями гидрохимических поисковых признаков; 6 - фоновые; 7 - аномальные; 8 - горизонтали; 9 - уровень грунтовых вод; 10 - контуры гидрохимических аномалий; II - пролювиальные и делювиальные отложения

к тектоническому нарушению, по которому передвигаются восходящие воды (рис.5).

Могут быть и еще более сложные пространственные соотношения между гидрохимической аномалией и местоположением рудных тел при одном и том же положении этой аномалии. Обобщение встречающихся в природе случаев таких пространственных взаимоотношений позволяет дать следующую примерную схему (рис.6) их взаимосвязей.

Изменения пространственных соотношений гидрохимических аномалий с рудными телами обуславливается тем, 1) что гидрогеологические условия передвижения и выхода на поверхность вод соприкасающихся с рудными телами различны и 2) что аномалии относятся не только к рудным водам, но и к ореольным водам различных видов и даже к различным зонам последних. Все это неизбежно сказывается на комплексе гидрохимических поисковых признаков, характеризующих гидрохимическую аномалию, и на их конфигурации и размерах.

Как указывалось выше изменения химического состава подземных вод часто влияют на конфигурацию и расположение гидрохимических аномалий. Это явление особенно характерно для областей с аридным климатом, где происходят интенсивные изменения минерализации вод на сравнительно коротких расстояниях.

Так, например, в Центральном Казахстане сульфидные рудные тела нередко приурочены к отдельным возвышенностям, являющимися местными областями питания. В связи с этим минерализация подземных вод, циркулирующих в трещиноватых породах, слагающих эти возвышенности, сравнительно низка. У подножия возвышенностей располагаются довольно значительные по протяженности долины, для которых характерно неглубокое залегание грунтовых вод, что в условиях аридного климата определяет высокую их минера-

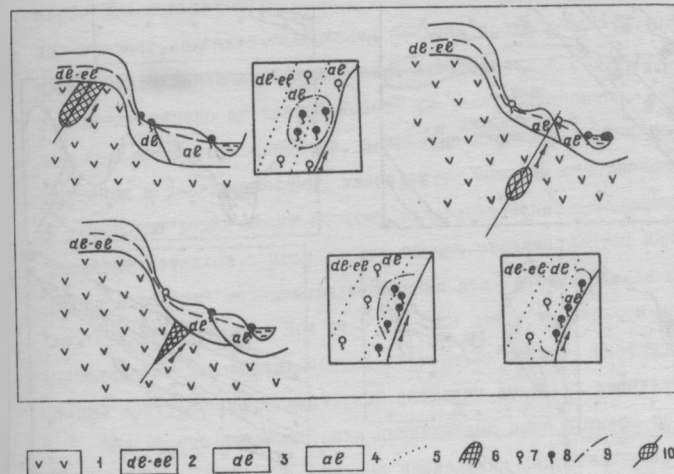


Рис. 5. Схема связи рудных тел и гидрохимических аномалий, расположенных в речной долине

1 - эффузивные породы; отложения: 2 - делювиальные и аллювиальные, 3 - делювиальные, 4 - аллювиальные; 5 - уровень грунтовых вод; 6 - рудное тело, источники со значениями гидрохимических поисковых признаков: 7 - фоновым, 8 - аномальным; 9 - контуры гидрохимической аномалии; 10 - тектоническое нарушение с рудным телом



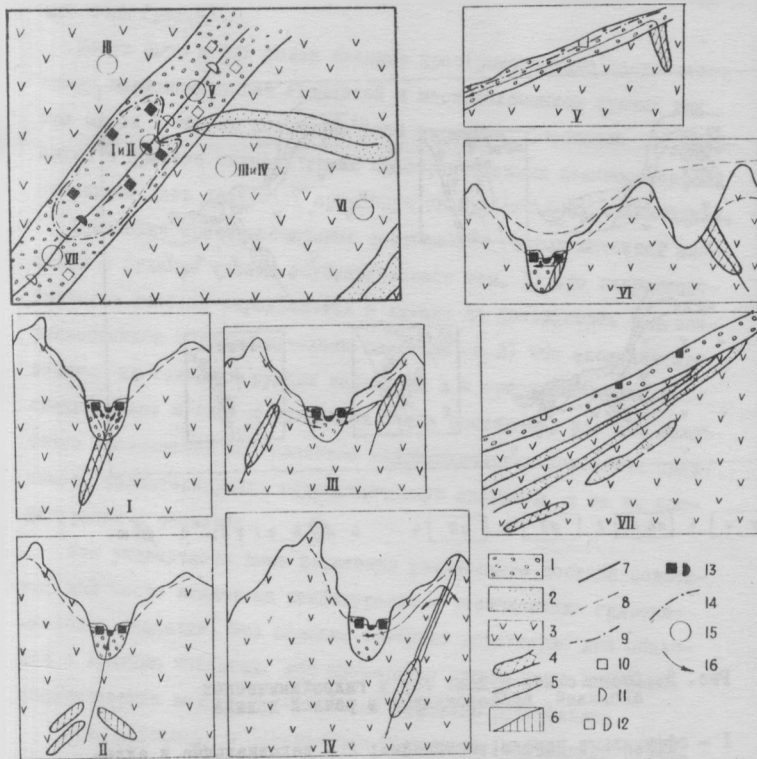


Рис. 6. Схема возможных пространственных соотношений гидрохимических аномалий с рудными телами

Отложения: 1 - аллювиальные галечниковые; 2 - аллювиальные песчаные; 3 - эффузивные породы; 4 - рудные тела; 5 - гидротермально-измененные породы; 6 - вторичный ореол рассеяния; 7 - тектоническая трещина с напорными водами; 8 - реконструкция древнего рельефа; 9 - уровень грунтовых вод; 10 - колодцы; 11 - места отбора пробы воды из поверхностного потока; значения гидрохимических поисковых признаков: 12 - фоновые; 13 - аномальные; 14 - контуры гидрохимических аномалий; 15 - возможное местоположение рудного тела (номер около знака соответствует номеру профиля, характеризующего геологические условия для данного случая); 16 - направление растекания рудных и ореольных вод

лизацию и такой состав, при котором содержание кальция находится на пределе насыщения и частичного выпадения. Осаждающиеся карбонаты кальция захватывают с собой ряд металлов, и поэтому, как правило, высокие содержания большей части металлов, являющихся гидрохимическими поисковыми признаками, в грунтовых водах долин далеко от возвышенности не распространяются. Повышенные содержания сульфат-иона, вызванные влиянием рудных тел, приуроченных к возвышенностям, маскируются высоким содержанием его в грунтовых водах долин. Поэтому распространение аномальных содержаний металлов в этом случае обычно ограничивается площадью распространения маломинерализованных вод, растекающихся от местной области питания. При этом граница между высоко- и маломинерализованными водами обычно достаточно сложна, поэтому и очертания контуров гидрохимической аномалии довольно причудливы.

Совершенно очевидно, что приведенные выше примеры освещают лишь некоторые типичные случаи проявления гидрохимических аномалий, далеко не исчерпывая всего многообразия существующего в природе.

### ГЛАВА III ИНТЕРПРЕТАЦИЯ ДАННЫХ ГИДРОХИМИЧЕСКИХ ПОИСКОВ

Интерпретация данных, полученных в результате гидрогеохимических поисков, производится, чтобы: 1) установить гидрохимические поисковые признаки рудных месторождений; 2) выявить и очертанить участки гидрохимических аномалий; 3) выявить природу гидрохимических аномалий; 4) установить пространственную связь гидрохимических аномалий с возможным местоположением рудных тел; 5) оценить перспективность гидрохимических аномалий и продолжать дальнейшее их изучение.

### I. Установление гидрохимических поисковых признаков рудных месторождений.

Аномальные значения содержания компонентов, используемых в качестве гидрохимических поисковых признаков, в зависимости от геолого-гидрогеологических условий конкретного района изменяются. Следовательно, аномальные значения какого-либо компонента минерализации могут быть выявлены лишь при сравнении их с теми значениями, которые характерны для фоновых вод. Поскольку выявление аномальных величин основано на сравнении с фоновыми значениями, то при установлении гидрохимических поисковых признаков очень важно выяснить фоновые значения компонентов минерализации.

Практика проведения опытных и производственных гидрогеохимических поисков рудных месторождений выдвинула следующие методы установления гидрохимических признаков и выяснения фоновых значений:

- а) сравнение величин содержания компонентов минерализации в близке расположенных водоисточниках (метод сравнения);
- б) составление гидрохимических профилей;
- в) составление вариационных кривых;
- г) составление вертикальных колонок;
- д) вычисление средних фоновых содержаний;
- е) обследование известного месторождения или известных месторождений, расположенных в районе работ (метод известного месторождения);
- ж) анализ данных о фоновых и аномальных содержаниях компонентов, полученных для района с аналогичными или близкими геологическими и гидрогеологическими условиями, в котором ранее производились гидрогеохимические поиски (метод аналогий).

Каждый из этих методов имеет свои преимущества и недостатки в отношении точности и объективности установления гидрохимических поисковых признаков, простоты, возможности использования этих признаков в поле и при камеральной обработке данных.

**М е т о д с р а в н е н и я.** Этот метод самый простой и чаще всего дает наиболее полноценные результаты. Его применение позволяет наиболее полно использовать геологические и гидрогеологические данные, уже имеющиеся на геологической карте, а также данные нанесенные на эту карту во время поисков. Большим преимуществом этого метода является то, что его использование возможно с самого начала полевых работ. Для выявления аномальных значений гидрохимических поисковых признаков по этому методу на карте рядом со знаками водоисточников, из которых была взята проба воды, наносится величина содержания соответствующего компонента минерализации. Затем сравниваются эти величины для нескольких рядом расположенных водоисточников. Если они одинаковы или незначительно отличаются друг от друга (на 1-3 мкг/л для микрокомпонентов и на единицы мг/л для сульфат-иона), то их принимают за фоновые. Содержания компонентов минерализации выше этих величин принимаются за аномальные (необходимо помнить, что для рН аномальными являются более низкие по сравнению с фоновыми значения).

Результаты сравнения данных по пробам из водоисточников, полученных в начале полевых работ, должны уточняться по мере возрастания количества обследованных водоисточников.

К фоновым относятся не только наиболее низкие значения содержания компонентов, но и самые распространенные из этих значений. Предположим, что на каком-то участке обследуемой площади было опробовано на содержание меди 12 водоисточников. Для двух

из них отмечено содержание меди ( в мкг/л) - 2, для пяти - 7; для двух - 10; для одного - 15, для двух - 20. В данном случае за фоновые значения должны быть приняты не наиболее низкие - 2 мкг/л, а 7 мкг/л, как наиболее распространенные из низких содержаний.

Если же участок расположен на площади распространения ореольных или рудных вод и распределение содержаний будет другим ( для двух водоисточников - 2 мкг/л; для пяти - 7; для трех - 10 и для семи - 15 мкг/л ), то за фоновое значение должно быть принято также 7 мкг/л, а не 15 мкг/л. Часто фоновые величины, полученные на основании сравнения данных нескольких водоисточников, могут оказаться завышенными. Так, если гидрохимические поиски на участке, названном на карте (рис.7) "аномальным", были начаты с точек 415, 416, 386, 387, 389, 385, то за фоновые значения могут быть приняты содержания молибдена от 10 до 12 мкг/л. При дальнейшем расширении поисков к востоку и к северу (точки 384, 382, 379, 742, 744, 739) устанавливается, что столь же часто, а может быть и чаще распространены водоисточники с меньшим содержанием молибдена (8 мкг/л). Следовательно, за фоновые величины следует принять содержание 3-10 мкг/л, содержание же 12 мкг/л будет уже аномальным. Дальнейшее расширение площади гидрохимических поисков на запад (падь А) показывает, что здесь фоновые значения не превышают 4 мкг/л молибдена и, таким образом, содержание 8 мкг/л также будет аномальным.

Но это не исключает необходимости выявления аномальных величин и по отношению к значению 8 мкг/л, так как если величины, аномальные по отношению к значению 4 мкг/л, дают возможность оконтурить в данном случае целый участок, т.е. поле гидрохимических аномалий или сложную гидрохимическую аномалию, то

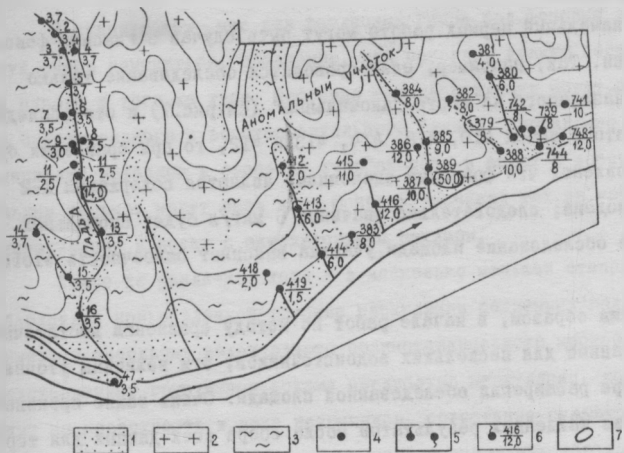


Рис. 7. Пример установлении фоновых и аномальных значений молибдена в подземных и поверхностных водах Восточного Забайкалья (составила Р.С. Кононова)

1 - современные и древние аллювиальные отложения / Q / ;  
 2 - крупнозернистые граниты / J / ; 3 - песчаники, сланцы, гнейсы метаморфической толщи / P<sub>г</sub>-P<sub>д</sub> / . Места отбора проб:  
 4 - из поверхностных водотоков; 5 - из источников восходящего и нисходящего типа; 6 - числитель дроби - № пробы воды, знаменатель - величина содержания молибдена в воде / мг/л % ;  
 7 - место взятия пробы воды с повышенным содержанием молибдена.

аномальные значения по отношению к содержанию 8-10 мкг/л дают возможность выявить отдельные наиболее перспективные участки аномалий на этом поле или отдельные более перспективные участки в пределах сложной аномалии.

В начальный период работы могут быть случаи завышения фоновых величин. Так, например, если проводится обследование только участка, названного на карте "аномальным" (см.рис.7) и это обследование начато с точек 419, 418, 414, 413 и 412, то при сравнении будет установлено, что фоновыми значениями являются содержания 1-2 мкг/л молибдена; следовательно значение 6 мкг/л будет аномальным. Дальнейшее обследование площади участка выясняет ошибочность этого решения.

Таким образом, в начале работ по методу сравнения достаточно получить данные для нескольких водоисточников; эти величины уточняются по мере расширения обследованной площади. Очень важно произвести уточнение найденных результатов после сбора всех данных для территории, имеющей более или менее однородные геолого-гидрогеологические условия (долина или бассейн реки; площадь, сложенная однородными породами, тектонические зоны и т.д.).

При таком уточнении следует учитывать, что данные фоновых значений, полученные для отдельных участков с однородным геолого-гидрогеологическим строением не должны использоваться для исправления фоновых значений, полученных на других участках, а лишь для выявления сравнительной аномальности последних.

Метод сравнений может быть использован как во время полевых исследований, так и при камеральной обработке полученных данных. При камеральной обработке материалов необходимо сравнивать отдельно обособленные в геолого-гидрогеологическом отношении участки. Следует отметить, что выявлять аномальные значения, как правило,

необходимо одновременно с проведением полевых исследований, так как только при этом условии возможна проверка полученных данных и уточнение всех неясных моментов.

В связи с тем, что для различных типов вод фоновые значения могут очень изменяться, сравнение, как правило, должно вестись для вод одного и того же типа. Особенно резкие различия могут быть для вод окислительного и восстановительного режима. Аномальные значения содержаний металлов и особенно сульфат-иона в водах с восстановительным режимом могут быть ниже фоновых значений тех же компонентов минерализации в водах с окислительным режимом.

Такое же различие, хотя и в несколько меньшей степени, может наблюдаться при различной глубине циркуляции подземных вод. Так, например, в ореольных водах одного полиметаллического месторождения, представленных грунтовыми водами неглубокой циркуляции, которые выходят на поверхность в виде источников, содержание сульфат-иона достигает 77 мг/л при фоне 18 мг/л в тех же ореольных водах, но представленных грунтово-трещинными водами со значительно большей глубиной циркуляции, выведенных на поверхность штольной, содержание сульфат-иона достигает 18 мг/л при фоне 4-5 мг/л. Если сравнить содержания сульфат-иона в воде, выводимой штольной, с его фоновым содержанием в грунтовых водах неглубокой циркуляции, то аномальные содержания не будут установлены.

В то же время очень часто фоновые содержания в водах различных типов, но близких по своему генезису (например, грунтовые воды делювиальных отложений и поверхностные воды небольших ручьев, питание которых происходит за счет грунтовых вод делювия), могут иметь небольшие различия. В этом случае можно сопоставлять и сравнивать между собой воды обоих типов (см.рис.7). Сравнивая

различные типы вод между собой, можно установить, различаются ли фоновые значения для того и иного типа вод. Если фоновые значения для двух или нескольких типов воды совпадают или близки, то при выделении фоновых и аномальных значений методом сравнения используются воды всех типов. Такой прием надо применять очень осторожно, тщательно анализируя весь комплекс геолого-гидрогеологических условий.

Очень часто для одной и той же площади приходится выявлять аномальные значения для нескольких компонентов минерализации. В этом случае целесообразно сравнение производить не на самой карте, а на восковках, накладываемых на эту карту. Для выявления аномальных значений каждого компонента берется отдельная восковка. На этих восковках отмечаются лишь места водосточников (значком, показывающим тип воды). Сбоку от знака выписывается содержание одного какого-либо компонента минерализации. Результаты сравнения на восковке переносятся на основную карту знаками, расставленными около соответствующих водосточников. Знак должен отображать (например, формой или цветом) к какому компоненту минерализации он относится и являются ли содержания этого компонента фоновыми или аномальными. Так как степень аномальности может быть различной (в частности, как это видно из приведенных выше примеров, содержания могут быть аномальными по отношению ко всей площади исследования или по отношению к фоновым значениям данного участка), аномальные значения следует изображать в нескольких градациях.

В отдельных случаях при использовании метода сравнения невозможно с достаточной объективностью выявить фоновые значения. Объективность этих значений в значительной степени зависит от геолого-гидрогеологических условий, определяющих характер изменений содержания того или иного компонента минерализации. Это хорошо вид-

но из вышеприведенного примера (см. рис.7). По пади А объективно и легко выявляются фоновые (4 мкг/л) и аномальные (14 мкг/л) значения молибдена. По "аномальному участку" фоновые значения могут быть приняты и в 8 и в 10 мкг/л даже в 12 и 6 мкг/л.

Метод вариационных кривых. При использовании этого метода все данные по содержанию компонентов минерализации подразделяются на несколько классов величин.

Полученные результаты изображаются в виде кривой: по оси ординат наносится количество случаев для данного класса и по оси абсцисс - границы классов величин или их середины. Составление вариационных кривых для "аномального участка" (см. рис.7) может быть произведено следующим образом:

Размер класса величин содержания (мкг/л)	Середина классов	№ № водосточников	Количество случаев
I - 2,9	2	4I2	I
3 - 4,9	4	38I	I
5 - 6,9	6	4I4, 4I3, 380	3
7 - 8,9	8	383, 384, 382, 379, 744 742, 739	7
9 - 10,9	10	387, 385, 388, 740, 74I	5
II - 12,9	12	4I6, 4I5, 386, 743	4
I3 - 14,9	14	-	0
	48	-	0
	50	389	I

Итого

22

На основании полученных результатов составляется вариационная кривая (рис.8). Абсцисса пика этой кривой и представляет собой

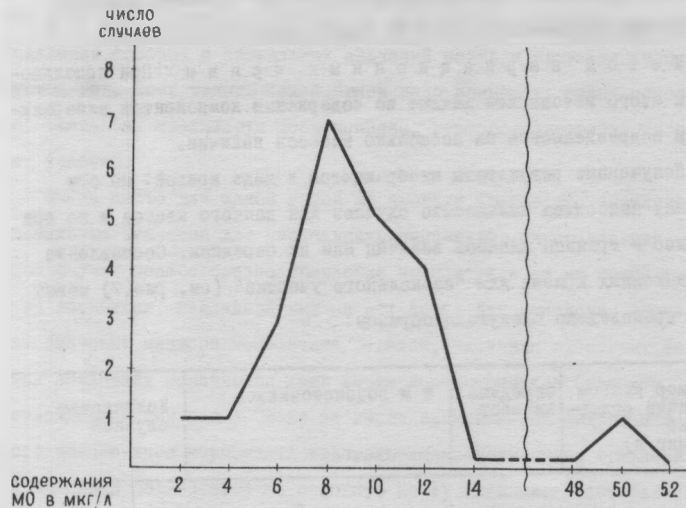


Рис. 8. Вариационная кривая для выявления аномальных содержания молибдена на "аномальном" участке

величину фоновых содержаний ( в данном случае 8 мкг/л).

При обработке данных для составления вариационных кривых число классов определяется диапазоном изменения величин (от максимальных до минимальных значений) и количеством имеющихся данных. Обычно намечается 10-12 классов. За величину класса берется круглое число, ближайшее к величине, полученной вычислением по следующей формуле.

$$K \approx \frac{\text{максимальное значение} - \text{минимальное значение}}{\text{число классов}}$$

Например, если в результате обследования водосточников на каком-либо участке были выявлены содержания молибдена в интервале от 3 до 30 мкг/л и число классов принимается равным 10, то величина класса будет равна 3 мкг/л, т.е. ближайшему круглому числу 2,7, вычисленному по формуле

$$K = \frac{30 - 3}{10} = 2,7$$

Достоинством метода вариационных кривых является его большая объективность определения фоновых значений. В то же время этот метод обладает рядом недостатков; из них наиболее важными являются: а) составление вариационных кривых возможно лишь при более или менее значительном количестве данных, поэтому метод вариационных кривых может быть использован после получения данных для достаточно обширной площади; б) при использовании метода вариационных кривых анализ полученных данных (вычисление количества случаев, составление самих кривых) производится в отрыве от геологической карты; это понижает эффективность и полноценность такого анализа. Поэтому метод вариационных кривых в основном используется для проверки и уточнения данных, полученных методом сравнения. Чаще всего такой метод используется при камеральной обработке ма-

терналов по всему исследованному району. Целесообразно также применение этого метода для площадей, на которых затруднительно выявить с достаточной объективностью фоновые содержания, пользуясь методом сравнения. В этих случаях метод вариационных кривых должен применяться в поле сразу же, после окончания обследования интересующей площади.

Метод вертикальных колонок, предложенный П.А.Удодовым (1957г). Способ выявления аномальных и фоновых значений при помощи этого метода показан на рис.9. Здесь место каждой точки определяется величиной содержания компонента минерализации, для которого составлен график, откладываемой в принятом масштабе от нулевой (нижней) линии. Этот метод П.А.Удодов предложил для определения фоновых значений суммы металлов, определяемых спектральным анализом из концентратов, приготовленных по методу Томского Политехнического института. Но такой метод может быть использован и для определения фоновых и аномальных значений любого компонента минерализации. Недостатки метода вертикальных колонок те же, что и недостатки метода вариационных кривых. В отдельных случаях объективное определение фоновых значений так же сложно, как и при методе сравнения. Но в то же время метод вертикальных колонок менее трудоемок, чем метод вариационных кривых, и графики, составленные по этому методу, дают возможность очень наглядно сопоставлять фоновые значения для различных типов вод, для вод приуроченных к тем или иным породам, для различных участков изучаемой площади.

Этот метод следует использовать при камеральной обработке материалов по всей площади исследования, для выявления различий в фоновых содержаниях компонентов при изменении геолого-гидрогеологических условий. В наиболее ответственных и интересных случаях, а также тогда,

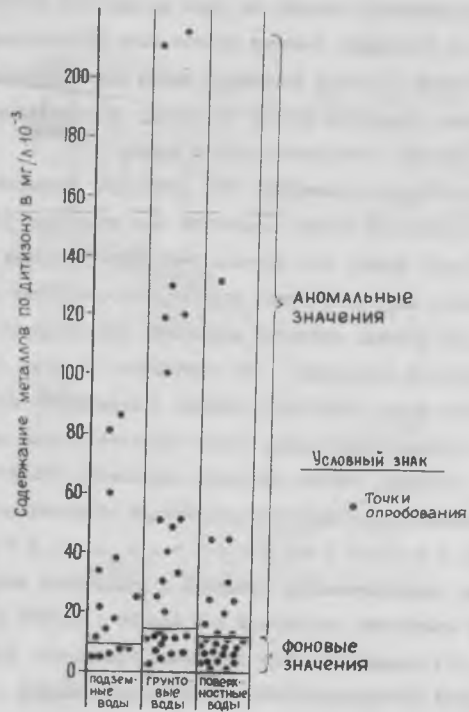


Рис. 9. Определение фонового содержания металлов в природных водах (по П.А. Удодову, 1957 г.)



когда метод вертикальных колонок не даст достаточно отчетливых результатов, для уточнения решения должен быть использован метод вариационных кривых. Но этот последний метод целесообразно использовать лишь после обработки данных по методу вертикальных колонок; тем самым значительно экономится труд и время.

Также целесообразно применять этот метод для проверки возможности использования при методе сравнения вод различных типов. Так, например, из рис.9 видно, что фоновые значения грунтовых и поверхностных вод очень мало отличаются друг от друга и более значительно отличаются от фоновых значений подземных вод (понимая под этим воды более глубокой циркуляции, чем грунтовые). В этом случае для метода сравнения могут быть одновременно использованы данные по грунтовым и поверхностным водам. Такая проверка данных выполняется в полевых условиях, сейчас же после накопления достаточного количества сведений для осуществления метода вертикальных колонок.

#### Метод гидрохимических профилей.

При построении гидрохимических профилей в каком-либо направлении рассматривают изменение содержаний или одного (рис.10) или нескольких (рис.11) гидрохимических поисковых признаков. Кривые изменения содержаний компонентов минерализации совмещаются с геолого-гидрогеологическими профилями.

Такой профиль должен дать отчетливые представления о типе вод, о направлении их движения, о связи отдельных горизонтов между собой и с поверхностными водами, о положении областей питания и разгрузки вод, о характере водоносных и водоупорных пород. Как правило, при составлении кривых изменения содержания компонентов минерализации должны использоваться данные, относящиеся к одному типу вод или к одному горизонту подземных вод, но в отдельных случаях,

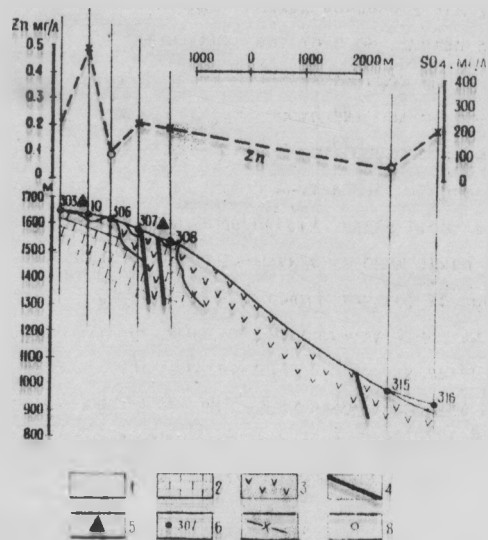


Рис. 10. Гидрохимический профиль по долине реки

1 - рыхлые отложения (аллювиальные и делювиальные);  
 2 - известняки; 3 - эффузивно-турфогенная толща; 4 - тектонические нарушения; 5 - месторождения полиметаллов;  
 6 - водоупункт и его номер; 7 - аномальные значения цинка;  
 8 - фоновые значения цинка



при близких фоновых значениях, могут использоваться данные, относящиеся к нескольким типам вод.

Гидрохимические профили проводятся или в направлении движения поверхностных и подземных вод, или по простиранию тектонических зон и вкрест его, или в направлении от участков с большой интенсивностью изменения химического состава или с более высокими содержаниями каких-либо гидрохимических поисковых признаков в к участкам с меньшими содержаниями этих признаков или с меньшей интенсивностью изменений химического состава.

Основным преимуществом метода гидрохимических профилей является то, что эти профили не только дают отчетливое представление об аномальных содержаниях компонентов, но и позволяют судить о пространственных соотношениях этих аномальных содержаний с рудными телами, с зонами тектонических нарушений и т.д., т.е. они (профили) дают большое количество геологических и гидрогеологических данных для интерпретации природы аномальных значений. В отдельных случаях к этим профилям может быть присоединен гидрохимический профиль, составленный по данным о макрокомпонентах (рис. 12) и кривые изменения окислительно-восстановительного потенциала и температуры воды. Эти материалы позволяют при интерпретации аномальных значений учитывать влияние химического типа вод и геохимических условий.

Но составление таких профилей очень трудоемко, и этот метод весьма сложен для массового выявления аномальных содержаний компонентов. Только в отдельных случаях, когда при помощи других методов выявить аномальные величины затруднительно, используется метод гидрохимических профилей, обычно значительно упрощенный (с заменой геолого-гидрогеологических профилей профилем рельефа со схематическими отметками границ залегания всех пород).

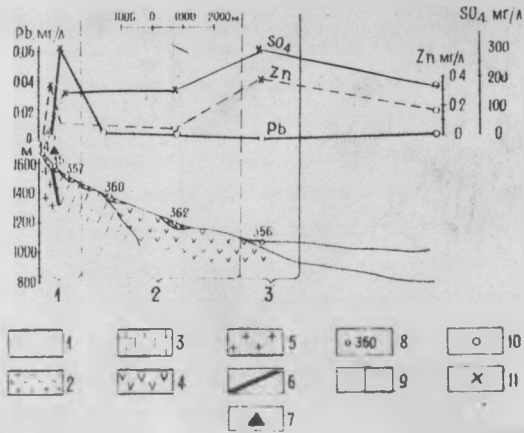


Рис. 11. Гидрохимический профиль, пересекающий гидрохимические аномалии

1 - рыхлые отложения (аллювий и дельвий); 2 - крупнообломочные аллювиальные отложения; 3 - известняки; 4 - эффузивнотуфогенная толща; 5 - гранодиориты; 6 - тектонические нарушения; 7 - месторождение полиметаллов; 8 - водоупор и его номер; 9 - граница распространения гидрохимических аномалий. Значения содержаний компонентов: 10 - фоновые; 11 - аномальные

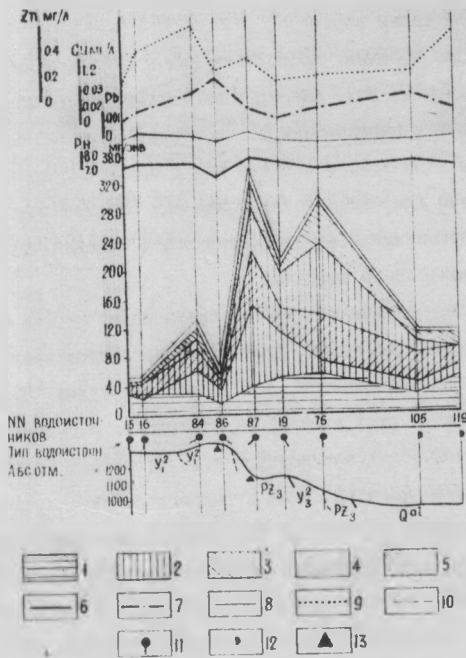


Рис. 12. Гидрохимический профиль по району медно-порфировых месторождений

Содержания макрокомпонентов: 1 -  $\text{HCO}_3^-$ ; 2 -  $\text{SO}_4^{2-}$ ; 3 -  $\text{Cl}^-$ ; 4 -  $\text{NO}_3^-$ ; 5 -  $\text{Mg}^{2+}$ ; 6 - величина рН.

Содержания микрокомпонентов (в мг/л): 7 -  $\text{Si}$ ; 8 -  $\text{Pb}$ ; 9 -  $\text{Zn}$ ; 10 - тектонические нарушения; 11 - родники; 12 - поверхностный поток; 13 - месторождения;  $\delta_1$  - кварцевые порфиры и аляскиты;  $\delta_2$  - сиениты;  $\text{Pz}_3$  - эффузивные порфиры и порфириты;  $\text{Qal}$  - аллювий

Метод гидрохимических профилей целесообразно использовать для выявления строения сложных гидрохимических аномалий или их полей, для интерпретации природы гидрохимических аномалий, а также для установления на основании обнаруженных гидрохимических аномалий возможных площадей развития ореольных и рудных вод.

Метод аналогии заключается в сопоставлении полученных данных с фоновыми значениями, выявленными для уже исследованных районов, имеющих примерно аналогичные геолого-гидрогеологические условия.

Так как полной аналогии между геолого-гидрогеологическими условиями даже двух смежных районов почти никогда не бывает, этот метод имеет очень ограниченное значение. В основном фоновые значения, установленные для района с аналогичными условиями, могут использоваться в самом начале работ для ориентировки при установлении фоновых значений методом сравнений.

Метод известного месторождения заключается в получении данных о гидрохимических поисковых признаках и их фоновых значениях на основании обследования вод известного (лучше всего законченного разведкой, но не эксплуатируемого) месторождения, расположенного в пределах района, где проводятся гидрогеохимические поиски.

Но рекогносцировочное обследование вод одного известного месторождения, конечно, не может дать полноценных результатов для всего разнообразия геолого-гидрогеологических условий района. Детально же обследовать одно и тем более несколько известных месторождений (если они даже имеются в районе) слишком трудно и это не всегда оправдывается.

Поэтому метод известного месторождения может быть лишь вспомогательным при использовании метода сравнения. Однако это несколько не снижает значения обследования вод известного месторожде-

ния, так как результаты такого обследования необходимы не только для получения данных о фоновых и аномальных значениях, но также и для правильного выбора ведущих гидрохимических поисковых признаков.

Таким образом, большая часть методов является вспомогательной по отношению к методу сравнения. Следует подчеркнуть, что всеми этими вспомогательными методами нужно пользоваться только тогда, когда имеются условия, снижающие полноценность применения метода сравнения или требующие контроля данных, полученных с помощью этого метода и тогда, когда необходимо решить отдельные специфические задачи.

Метод средних фоновых величин заключается в подсчете среднеарифметических величин содержаний, признанных по тем или иным соображениям фоновыми значениями. Этот метод очень труден и может быть рекомендован лишь для камеральной обработки материалов. Выбор фоновых содержаний часто очень субъективен. Поэтому названный метод редко применяется для практической работы, он может использоваться при исследованиях по разработке гидрогеохимических методов поисков или по обобщению материалов по геохимии подземных вод больших территорий.

Особые приёмы выявления фоновых и аномальных значений. Для гидрохимических поисковых признаков, относящихся к макрокомпонентам, характерно широкое распространение высоких содержаний в фоновых водах. Эти содержания могут маскировать аномальные содержания компонентов, возникшие под влиянием рудных тел. Сами аномальные значения таких компонентов минерализации могут зависеть от очень многих причин: от генетических особенностей пород, от процессов вторичного соленакпления и т.д. Это может способствовать образованию аномалий, не имеющих значе-

ния для поисков рудных месторождений. Поэтому для интерпретации таких аномальных значений гидрохимических поисковых признаков приходится прибегать к особым приемам. К таким признакам относятся содержания сульфат-иона, величины pH, величины минерализации воды и иногда хлор-иона.

Особые приёмы интерпретации аномальных значений сульфат-иона основаны на том, что увеличение его содержания в воде под влиянием причин, не связанных с воздействием рудных тел, сопровождается увеличением содержания других анионов. Воздействие же рудных тел обычно вызывает увеличение содержания в воде одного лишь сульфат-иона. Действительно, воднорастворимые соли, содержащиеся в породах, почти никогда не представлены чистыми сульфатами; обычно это смесь солей, которые, растворяясь в воде, обогащают её сульфат-ионом, хлор-ионом, гидрокарбонат и карбонат-ионами. Даже скопления гипса в той или иной мере содержат другие растворимые соли, в первую очередь, хлористые. Скопление солей, образующихся при испарении с водной поверхности капиллярной каймы грунтовых вод, также представляет собой смесь воднорастворимых солей.

При воздействии окисляющихся сульфидных рудных тел обогащение вод сульфат-ионом происходит вследствие растворения серной кислоты, или сульфатов металлов, т.е. из анионов повышается содержание одного лишь сульфат-иона. Существует некоторые исключения из этого общего правила, на которых мы остановимся ниже.

Для того чтобы выяснить, повышается ли содержание только одного сульфат-иона или же и других анионов, можно воспользоваться коэффициентами пропорциональности между содержанием сульфат-иона и какого-либо другого аниона (содержания анионов берутся в мг/л). Если будет происходить одновременное и почти одинаковое увеличение содержания обоих анионов, характеризующих этот коэффициент, то значение коэффициента останется почти неизменным.

Если увеличится только содержание сульфат-иона, то значение коэффициента возрастает; если же будет увеличиваться содержание только другого аниона, значение коэффициента уменьшится. Таким образом, увеличение значения коэффициента связано с увеличением содержания одного сульфат-иона или же с преимущественным увеличением его содержания.

При малой минерализации вод породы, как правило, или вообще не содержат хлоридных солей или хорошо отмыты от них. Процессы современного соленакопления имеют очень небольшое значение. Поэтому очень часто содержание хлора в таких водах остается почти постоянным, несмотря на изменение общей минерализации и содержания других макрокомпонентов.

Так, на больших пространствах Южного Приморья, северной части Восточного Забайкалья, высокогорных районов Закавказья содержание хлор-иона в грунтовых водах везде примерно около 3 мг/л. Эта величина близка к содержанию этого иона в атмосферных осадках. Для таких вод коэффициент пропорциональности  $so_4/ce$  изменяется лишь в результате изменений содержания сульфат-иона, т.е. такой коэффициент для выявления аномальных величин ничего нового по сравнению с абсолютными содержаниями сульфат-иона не дает.

Химический состав маломинерализованных вод формируется в основном вследствие выветривания под воздействием углекислоты, поэтому изменения величины общей минерализации и содержания каждого компонента минерализации, в частности, сульфат-иона сопровождаются изменением содержания гидрокарбонат-иона. Следовательно, для таких вод наиболее целесообразно использовать коэффициент пропорциональности  $so_4/HCO_3$ . Практика показала, что применение этого коэффициента дает хорошие результаты для вод с минерализацией до 100-150 мг/л. Конечно, это очень ориентировочные цифры, которые в каждом конкретном случае должны уточняться в зависимости от фактичес-

кого содержания хлор-иона в воде и в соответствии с геолого-гидрогеологическими условиями. Необходимо учитывать, что для применения коэффициента  $so_4/HCO_3$  наиболее благоприятными условиями является развитие силикатных пород, интенсивная прорываемость их, отсутствие современных процессов соленакопления. В отдельных случаях, когда свободная серная кислота, образовавшаяся в результате окисления сульфидов, не успела еще нейтрализоваться, подземные воды, наряду с повышенными содержаниями сульфат-иона, имеют пониженное содержание гидрокарбонат-иона (вследствие перехода части этого компонента при более низких pH воды в свободную углекислоту). Это приводит к еще большему относительному увеличению значения коэффициента  $so_4/HCO_3$ .

При относительно высокой минерализации вод в формировании их химического состава начинают играть преимущественную роль воднорастворимые соли, и поэтому увеличение содержания сульфат-иона сопровождается увеличением содержания хлор-иона. В то же время из-за малой растворимости наиболее распространенных в природе карбонатов кальция и магния увеличение содержания гидрокарбонат-иона или сильно замедляется или совсем прекращается. При замедленном возрастании содержания этого аниона коэффициенты  $so_4/HCO_3$  будут увеличиваться для всех вод, а не только для вод, на которые влияют окисляющиеся сульфиды. Если возрастание содержания гидрокарбонат-иона прекращается (т.е. его содержание становится более или менее постоянным), то изменение значения коэффициента  $so_4/HCO_3$  будет зависеть лишь от изменений содержания сульфат-иона. Для таких вод более целесообразно использование коэффициента  $so_4/ce$ . Практика показала, что применение этого коэффициента дает хорошие результаты для вод с минерализацией выше 100-150 мг/л.

В каждом конкретном случае необходимо устанавливать возможность применения этого коэффициента в зависимости от характера из-

менения содержаний хлор - и гидрокарбонат- иона учитывая также и геолого-гидрогеологическую обстановку, Тщательный анализ этих факторов будет способствовать выяснению степени влияния современных и древних процессов соленакпления на формирование химического состава подземных вод, что в свою очередь укажет на возможность использования коэффициента  $so_4 / ce$

Для выбора коэффициента целесообразно принять во внимание данные по какому-либо ранее обследованному месторождению или сведения об изученном районе с аналогичными геолого-гидрогеологическими условиями.

При достаточно высокой минерализации фоновых вод (примерно 0,7 - 1,0 г/л) увеличение содержания сульфат-иона замедляется в связи с тем, что растворимость наиболее распространенного в природе сульфата кальция не более 2 г/л, увеличение содержания хлор-иона продолжается с той же интенсивностью. Поэтому коэффициент  $so_4 / ce$  для фоновых вод с повышенной минерализацией уменьшается. При достаточной изменчивости в исследуемом районе величины минерализации подземных вод это обстоятельство может привести к выявлению в ряде точек фоновых вод с относительно повышенными значениями коэффициента  $so_4 / ce$ . Большое количество таких точек в дальнейшем затрудняет интерпретацию природы гидрохимических аномалий. Поэтому для вод с минерализацией выше 0,7-1,0 г/л и особенно при большой изменчивости величины минерализации в пределах исследуемой территории целесообразнее использовать не коэффициенты пропорциональности, а составлять график взаимозависимости хлор-и сульфат иона. На рис. 13 фоновые величины содержаний компонентов линией отделены от аномальных. Все точки, расположенные выше этой кривой, отвечают аномальным значениям. Точки, соответствующие фоновым значениям, определяются либо путем анализа геолого-гидрогеологичес-

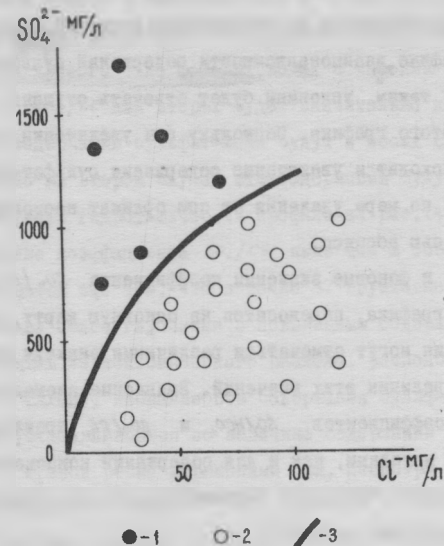


Рис. 13. Зависимость между содержанием сульфат-иона и хлор-иона в подземных водах для района медно-рудного месторождения. Значения содержаний сульфат-иона: 1 - аномальные, 2 - фоновые; 3 - линия, отделяющая фоновые значения от аномальных

ких условий, в которых находятся водоисточники, из которых были отобраны пробы воды, либо при помощи приёма, рекомендованного для установления фоновых значений по методу сравнения. Как указывалось выше, при этом методе за фоновые значения принимаются наиболее распространенные из минимальных значений содержаний компонентов. На графике взаимозависимости содержаний сульфат- и хлор-иона (рис. 13) таким условиям будет отвечать сгущение точек в нижней части этого графика. Поскольку при увеличении содержания хлор-иона происходит и увеличение содержания сульфат-иона, то это сгущение точек по мере удаления от оси ординат несколько приподнимается над осью абсцисс.

Аномальные и фоновые значения коэффициента  $SO_4/Cl$ , выявленные с помощью графика, переносятся на основную карту, причем аномальные значения могут отмечаться различными знаками для нескольких категорий величин этих значений. Выявление аномальных и фоновых значений коэффициентов  $SO_4/HCO_3$  и  $SO_4/Cl$  производится также и такими же методами, как и для содержаний компонентов минерализации. Наиболее часто оно выполняется методом сравнения и методом гидрохимических профилей.

При использовании коэффициентов  $SO_4/HCO_3$  и  $SO_4/Cl$  следует всегда помнить, что они являются лишь вспомогательными для выявления аномальных и фоновых значений сульфат-иона. Следовательно, определение значений коэффициентов должно производиться одновременно с выявлением аномальных и фоновых значений для сульфат-иона. На картах фоновые и аномальные значения коэффициентов  $SO_4/HCO_3$  или  $SO_4/Cl$  показаны знаками, дополняющими соответствующие обозначения содержания сульфат-иона, на гидрохимических профилях, вместе с кривой изменения значений  $SO_4/Cl$  или  $SO_4/HCO_3$ , обязательно приводится кривая изменений содержаний сульфат-иона.

Это требование обуславливается следующими причинами.

1. На одной и той же площади содержание хлор-иона в фоновых водах может весьма резко изменяться, но фоновые воды участвуют и в формировании рудных и ореольных вод и, если ореольные воды одного месторождения развиваются на фоновых водах с низким содержанием хлора, а другого - на фоновых водах с высоким содержанием, то коэффициент  $SO_4/Cl$  для вторых будет значительно ниже, несмотря на то, что содержания сульфат-иона будут в обоих случаях одинаковые или даже во втором случае эти содержания будут выше. Примером может служить гидрохимический профиль на рис. 14. Здесь в точке 87 значение коэффициента  $SO_4/Cl$  ниже чем в соседних точках 86 и 19. Обясняется это тем, что в точке 87 грунтовые воды подпитываются водами более глубокими с повышенным содержанием хлор-иона, поступающими из тектонического разлома, расположенного несколько выше по склону. Аномальность содержания сульфат-иона в данном случае устанавливается по величине содержания сульфат-иона, дающего на кривой резко выраженный пик. Несмотря на некоторое снижение коэффициента  $SO_4/Cl$ , его значение в таких случаях остается все же выше фоновых (фоновые значения коэффициента  $SO_4/Cl$  в точках 76, 105, 119).

2. Иногда гидротермально измененные породы, вмещающие рудные тела, обогащены хлорсодержащими минералами; хлор-ион переходит в ореольные и рудные воды, что также приводит к снижению значения коэффициента  $SO_4/Cl$ .

Таким образом, одновременное рассмотрение изменений содержаний сульфат-иона и значений коэффициента  $SO_4/Cl$  позволяет выявлять аномальные значения сульфат-иона даже при наличии многих причин, маскирующих их аномальный характер. Анализ изменений коэффициента  $SO_4/Cl$  позволяет выявлять аномальные значения сульфат-иона в случае его снижения под влиянием уменьшения общей ми-

нерализации воды, обусловленным повышением интенсивности водообмена (см. рис.14, точка 86). Анализ изменений содержаний сульфат - иона дает возможность выявить аномальные значения этого иона в условиях изменчивости содержаний хлор-иона.

Все сказанное выше относится и к коэффициенту  $\frac{SO_4}{HCO_3}$  с тем лишь отличием, что содержания гидрокарбонат-иона в фоновых водах имеют меньшее значение, так как при понижении pH воды, часто происходящим под влиянием рудных тел, эти высокие содержания не сохраняются.

Основанием для разработки приёмов выявления аномальных значений pH и общей минерализации воды является сопряженность изменений этих двух показателей её химического состава.

Величина pH прежде всего зависит от присутствия в воде угольной, серной и органических кислот. При взаимодействии воды с вмещающими породами происходит нейтрализация кислот, в результате которой повышаются pH воды и её минерализация. Чем больше поступает в воду кислот, тем большее количество нейтрализующих веществ (большая величина минерализации) необходимо для достижения одних и тех же значений pH. Это положение можно сформулировать следующим образом: при одинаковой величине минерализации воды те воды, в которые более интенсивно поступают кислоты, будут иметь более низкий pH, или же при одинаковой величине pH воды, в которые более интенсивно поступают кислоты, будут иметь более высокую минерализацию. Следовательно воды, находящиеся под влиянием окисляющегося сульфидного рудного тела, при окислении которого образуется серная кислота, будут при одинаковой с фоновыми водами величине минерализации иметь более низкий pH, а при одинаковой величине pH - более высокую минерализацию.

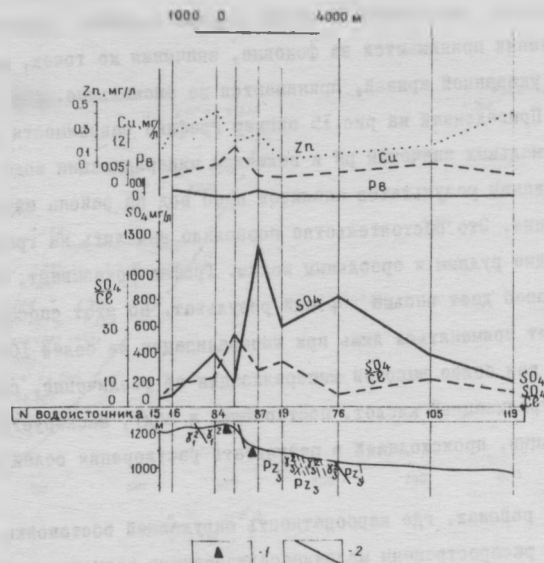


Рис. 14. Гидрохимический профиль по району медно-порфировых месторождений

1 - рудные месторождения; 2 - тектонические нарушения

На этих соображениях основан способ, заключающийся в составлении графика зависимости, в котором по оси ординат нанесены значения pH, а по оси абсцисс - величины минерализации воды (рис.15). Сгущение точек, находящихся в левой стороне графика, отделяется кривой; их значения принимаются за фоновые, значения же точек, расположенных правее указанной кривой, принимаются за аномальные.

Приведенный на рис.15 пример графика зависимости для выявления аномальных значений pH и величины минерализации воды составлен на основании результатов анализов проб вод из района изученного месторождения. Это обстоятельство позволило выделить на графике точки, отвечающие рудным и ореольным водам. График показывает, что описываемый способ дает весьма хороший результат. Но этот способ, как правило, может применяться лишь при минерализации не более 100-150 мг/л, так как при более высокой минерализации её увеличение, сопровождаемое нейтрализацией кислот, поступающих в воду, маскируется ростом минерализации, происходящей в результате растворения солей нейтральной водой.

В районах, где карбонатность окружающей обстановки незначительна и распространены мало минерализованные воды и наряду с этим активно осуществляется процесс окисления сульфидов с выделением большого количества серной кислоты, аномальные значения pH могут быть выявлены одним из способов, рекомендованных для анализа значений других компонентов минерализации.

При поисках месторождений редких элементов, рудные тела которых представлены хлорсодержащими минералами, гидрохимическим поисковым признаком (как указано в главе I "Гидрохимические поисковые признаки") служит аномальное содержание хлора. В этих случаях вспомогательным признаком будет коэффициент  $Cl/HCO_3$ .

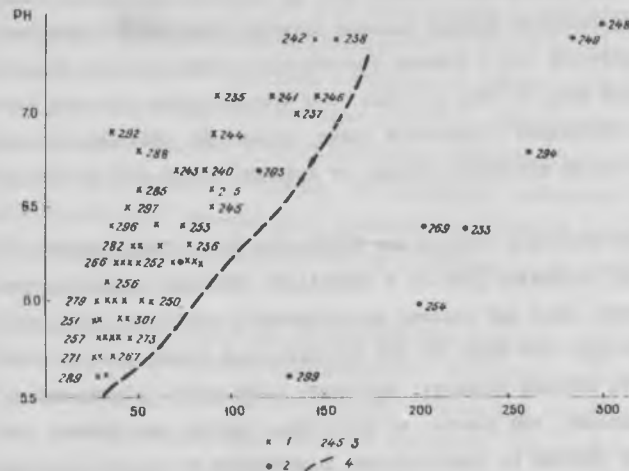


Рис. 15. График зависимости величин pH и минерализации подземных и поверхностных вод района вольфрамового месторождения

Точки показывающие: 1 - состав фоновых вод; 2 - состав вод, находящихся под влиянием рудного тела; 3 - номер водонесочника, из которого отобрана проба воды; 4 - кривая, отделяющая точки с фоновыми значениями от точек с аномальными значениями



При выявлении аномальных значений этого коэффициента следует учитывать все, что было сказано выше относительно коэффициента  $SO_4/НСО_3$ . Изменения фоновых и аномальных значений во времени могут быть достаточно велики. Так, на отдельных участках горных районов Северной Армении фоновые значения содержаний компонентов для грунтовых вод в течение трех-четырёх летних месяцев изменяются в два раза. В этих условиях, при использовании анализов пробы воды, отобранной в различное время, аномальные значения, имеющие сравнительно небольшое отличие от фоновых, могут быть не обнаружены.

Для известной степени эти неточности могут быть устранены, если для выявления фоновых и аномальных значений применять сравнительный метод при условии одновременного или почти одновременного отбора проб воды. Но для сравнительной оценки фоновых значений на больших площадях, требующих длительного времени для их обследования, это условие не выполнимо. Поэтому для района, где имеются участки со значительными колебаниями во времени содержаний компонентов минерализации в типичных для фоновых вод местах и в первую очередь там, где эти изменения наиболее интенсивны в местах попеременного питания и дренажа грунтовых вод поверхностными водами или же вблизи от области питания (при хорошей проницаемости пород зон аэрации) организуются пункты стационарных наблюдений за изменением содержаний минерализации воды.

В отдельных районах изменения фоновых и аномальных значений могут быть несинхронны, т.е. в одно время года отчетливо выявляются все аномальные значения, даже незначительно отличающиеся от фоновых, в другое - выявляются лишь резко отличные аномальные значения. Для таких районов необходимо подобрать соответствующий период года для проведения полевых работ. Выявление таких районов

и наиболее благоприятного времени для их обследования может быть произведено путем анализа их геологических и гидрогеологических условий. Конечно, выбор благоприятного периода времени года для проведения полевых работ далеко не всегда возможен. Обычно это возможно и необходимо осуществлять при сравнительно крупномасштабных работах, на отдельных участках представляющих особый интерес.

Изложенные способы выявления аномальных и фоновых значений являются лишь некоторыми методическими приемами, выработанными в процессе проведения опытных и производственных гидрогеохимических поисков рудных месторождений. Конечно, они далеко не исчерпывают всех возможных способов, которые можно применять в различных геолого-гидрогеологических условиях при всем многообразии их на обширной территории СССР.

2. Выявление и оконтуривание гидрохимических аномалий. Как уже упоминалось в главе II, под гидрохимическими аномалиями мы понимаем точки и участки, которые характеризуются аномальными значениями тех или иных гидрохимических поисковых признаков. Следовательно, установление аномальных значений содержаний компонентов и занесение на карту местоположения водоисточников, в которых обнаружены эти значения, и является выявлением гидрохимических аномалий.

В понятие гидрохимической аномалии также входит локальность распространения аномальных значений. Если проследить изменение количественной характеристики какого-либо гидрохимического поискового признака в каком-то определенном направлении, то при появлении аномальных значений вначале количество их будет все повышаться (или понижаться), затем оно понизится или повысится, пока не достигнет первоначальной или близкой к ней величины. Характеристика же фоновых значений будет соответствовать прямой, расположенной горизонтально (рис. 16 "б") или под каким-то углом к оси абсцисс (рис. 16 "а" и "д") или же в результате постепенного изменения угла

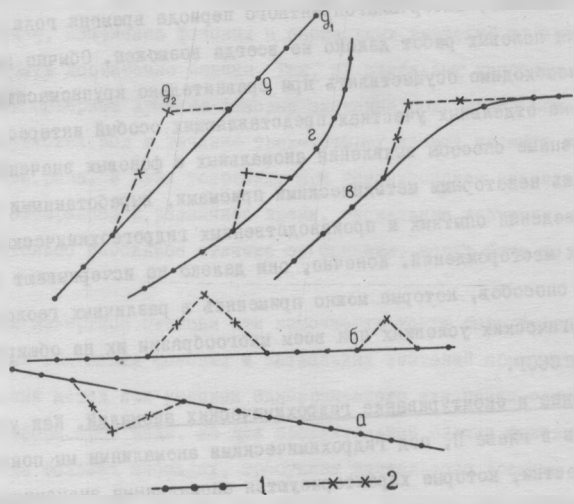


Рис.16 Схема соотношений аномальных и фоновых значений на гидрохимических профилях

Значения: 1 - фоновые, 2 - аномальные

наклона - кривой (рис. 16 "в" и "г"), угол наклона может изменяться, но он всегда останется или острым или тупым по отношению к оси ординат, т.е. линия никогда не имеет перегиба.

Таким образом, в профиле, построенном по направлению общего изменения минерализации воды, аномальные значения отразятся в виде пика (положительного или отрицательного) на прямой или кривой, характеризующей это изменение. Любая же точка вне пика, даже расположенная в наиболее высокой или наиболее низкой части линии, не будет гидрохимической аномалией (точка  $D_1$  на рис. 16).

Иногда при выявлении фоновых и аномальных содержаний такие высокие или низкие, но расположенные вне пика значения, могут быть приняты за аномальные. Чаще всего такие ошибки происходят при выявлении аномальных значений сульфат-иона.

Поясним сказанное примером. На рис.17 приведена схематическая карта распределения содержаний сульфат-иона в грунтовых водах долины реки. В случае проведения исследований только к востоку от линии АБ, содержание сульфат-иона в точке "а" может быть принято за аномальное. В подобных случаях необходимо сделать проверку выявленных аномальных причин, определив содержание соответствующего компонента в водоисточниках, расположенных ниже по движению подземных или поверхностных вод.

Оконтурированию подлежат поля и отдельные гидрохимические аномалии, расположенные внутри и вне этих полей. Контуры отдельных аномалий проводятся вблизи водоисточников с аномальным значением гидрохимических полевых признаков. При оконтурировании площади распространения гидрохимической аномалии принимаются во внимание направление движения и условия распространения вод того типа, для которого обнаружены аномальные значения. Для грунтовых

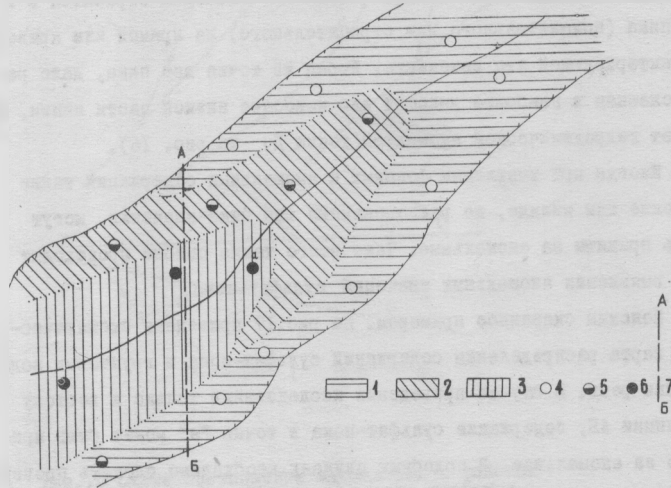


Рис.17 Схематическая карта распределения содержания сульфат-ионов в грунтовых водах долины реки

Грунтовые воды с содержанием сульфат-иона ( в мг/л ) :  
 I - до 20 ; 2 - от 20 до 50 ; 3 - более 50 ; содержа-  
 ние сульфат-иона в источниках ( в мг/л) ; 4 - до 20 ;  
 5 - от 20 до 50 ; 6 - более 50 ; 7 - валадная граница  
 проведения гидрохимических поисков

вод при оконтуривании аномалий необходимо учитывать условия рельефа, для пластовых подземных вод конфигурацию выхода на поверхность или под наносами водоносных пород.

При оконтуривании гидрохимических аномалий не следует прибегать к широким интерпретациям. Так, например, на карте (рис.18) оконтурены три отдельных аномалии (V, VI и IX) несмотря на то, что все они приурочены к грунтовым водам, являющимся, вероятно, одним общим водоносным горизонтом. Но в плане эти аномалии разделены возвышенностью, на которой водосточники отсутствуют. Наличие этой возвышенности с отсутствием водосточников и заставило выделить три аномалии.

Оконтуривание поля гидрохимических аномалий начинается с выявления контура участка, в пределах которого установлены несколько повышенные содержания одного или нескольких гидрохимических поисковых признаков (см. на рис. 7 "аномальный участок"). В пределах всего поля оконтуриваются отдельные гидрохимические аномалии. В контур поля таких аномалий может быть включен ряд гидрохимических аномалий, разделенных между собой небольшими участками распространения вод с фоновыми значениями.

В пределах сложной гидрохимической аномалии выделяются участки, характеризующиеся различными ассоциациями гидрохимических поисковых признаков, а также участки, для которых аномальные значения одного или нескольких гидрохимических признаков особенно контрастны. В отдельных случаях целесообразно внутри сложной гидрохимической аномалии провести контуры, ограничивающие распространение аномальных значений различных гидрохимических поисковых признаков.

Изображение гидрохимической аномалии, подобное приведенному на рис.19, возможно для аномалий, вызванных влиянием ореольных

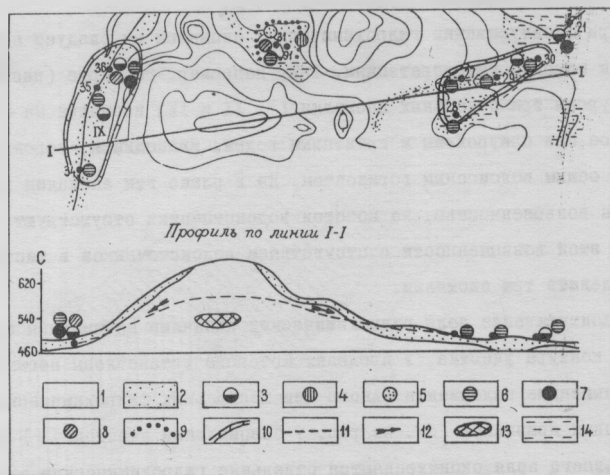


Рис. 18. Карта гидрохимических аномалий и профиль для одного из районов Среднего Урала (составила П.И. Пшчерова)

I - эффузивно-осадочная толща ( $S_I - D_3$ ) и интрузивные породы;  
 2 - четвертичные отложения;  
 Аномальные (повышенные) содержания компонентов в водах:  
 3 - сульфат-иона более 12 мг/л; 4 - меди (более 2  $\mu$ /л);  
 5 - свинца (больше категории "следы"); 6 - цинка (больше 100  $\mu$ /л); 7 - молибдена (больше 0); 8 - мышьяка (больше 2  $\mu$ /л).  
 Тип гидрохимической аномалии и ее номер: 9 - рудных вод (У);  
 10 - ореольных вод или вторичных ореолов рассеяния (VI, IX);  
 II - уровень грунтовых вод; 12 - направление движения подземных вод; 13 - предполагаемое местоположение рудного тела;  
 14 - болото

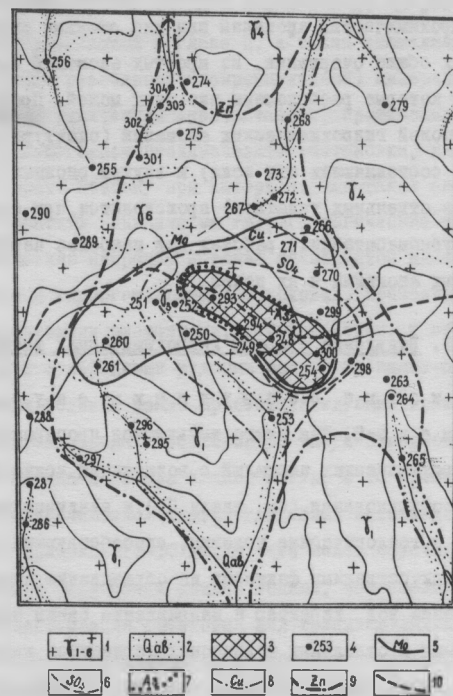


Рис. 19. Сложная гидрохимическая аномалия вольфрамового месторождения (составил Б.А. Воротников)

I - гранитоидные породы мезозойского возраста; 2 - современные аллювиальные отложения; 3 - площадь рудного поля;  
 4 - места отбора и номер гидрохимической пробы.  
 Контуры, ограничивающие площади распространения аномальных содержания: 5 - молибдена; 6 - сульфат-иона; 7 - мышьяка; 8 - меди; 9 - цинка (соответствует контурам сложной гидрохимической аномалии); 10 - линии основного водораздела

вод, образовавшихся в результате растекания рудных вод.

Очень часто при относительно мелкомасштабных работах для больших полей гидрохимических аномалий или для сложных аномалий выясняются лишь их общие очертания. Из простых аномалий оконтуриваются только те, которые расположены вне этих полей. Проведение контуров внутри полей гидрохимических аномалий (оконтуривание отдельных аномалий, составляющих эти поля) и внутри сложных аномалий (оконтуривание отдельных участков) производится при более детальных (более крупномасштабных) работах для наиболее перспективных гидрохимических аномалий и их полей.

### 3. Выявление полей гидрохимических аномалий

Отбраковка безрудных искусственных аномалий. Для этого выявляются пространственные соотношения гидрохимических аномалий с возможными искусственными факторами их возникновения (см. главу II) и анализируются гидрогеологические и геологические условия, способствующие проявлению влияния этих искусственных факторов на образование аномалий (направление движения вод, характер и направление слоев подземных вод с поверхностными и отдельных водоносных горизонтов между собой, проницаемость пород, слагающих зону аэрации, глубина залегания грунтовых вод и т.д.). При необходимости выясняется направление господствующих ветров, определяющих перемещение аэрозолей (дымов), обогащенных рудообразующими элементами или сульфат-ионом.

Иногда в районе интерпретируемой аномалии производится дополнительное и окончательное для всего района исследование путем изучения фоновых материалов и проведения рекогносцировочных маршрутов выяснение наличия искусственных источников обогащения подземных вод теми или иными компонентами.

Выявление безрудных природных гидрохимических аномалий. В соответствии с классификацией, приведенной в главе II, к таким аномалиям относятся аномалии, вызванные рассеянной (непромышленной) минерализацией в породах, интенсивным химическим выветриванием, процессами современного соленакпления, изменением геохимической обстановки, наличием тектонических зон и проч. Поэтому при интерпретации таких аномалий прежде всего следует обратить внимание на гидрогеологические условия, способствующие повышению миграции в водах компонентов минерализации, и на геологические и гидрогеологические условия, приводящие к обогащению вод рудообразующими элементами, сульфат-ионом, к обогащению пород несвязанным с сульфидными рудными месторождениями-сульфидами. Для иллюстрации таких условий можно привести следующие примеры.

а. В грунтовых водах высокогорной части Северной Армении фоновые содержания свинца не более единиц мкг/л, в то время как в водах довольно часто встречающихся здесь углекислых источников эти содержания находятся в пределах 20-50 мкг/л, что может обуславливаться большой растворимостью соединений свинца водами, обогащенными углекислотой. В местах подпитывания грунтовых вод трещинно-карстовыми углекислыми водами образуются гидрохимические аномалии, связанные с особенностями гидрогеологических условий, а не с влиянием рудных тел, т.е. природные безрудные аномалии.

Следует отметить, что в условиях, характерных для Северной Армении, углекислые источники могут являться показателями наличия рудных тел, но в таких случаях обычно происходит более резкое повышение содержания в не одного-двух компонентов, растворимость которых увеличивается при обогащении вод углекислотой, а значительно большего числа их.

б. Очень часто фоновые содержания некоторых микрокомпонентов изменяются в зависимости от степени карбонатности окружающей обстановки. Так, в Северной Армении фоновые содержания цинка в грунтовых водах для участков с некарбонатной геохимической обстановкой (горно-луговая зона) достигают 50 мкг/л, для участков с карбонатной обстановкой (горно-лесная зона) не превышает 15-20 мкг/л. В связи с тем, что очень часто участки с некарбонатной обстановкой возникают в виде отдельных замкнутых пятен на общем фоне карбонатной обстановки, такие пятна являются безрудными природными аномалиями.

в. Трещинно-жильные воды тектонических зон часто отличаются по своему химическому составу от остальных вод данного района; смешиваясь с грунтовыми водами, они изменяют химический состав последних. Для грунтовых вод западной части хребта Кара-Мазара (Средняя Азия), например, характерны содержания сульфат-иона от 20 до 60 мг/л; в тех же местах, где в питании грунтовых вод участвуют воды зон тектонических нарушений, содержание сульфат-иона достигает 400-600 мг/л. Обычно участки с такими содержаниями сульфат-иона представляют собой полосы и отдельные пятна, расположенные параллельно простиранию зон тектонических нарушений.

г. На Среднем Урале, на территории некоторых болот, расположенных вне зоны влияния медно-колчеданных месторождений и даже вне площадей распространения перспективной по оруденению толщи (зеленокаменных пород), наблюдаются воды с очень низким рН и с содержаниями сульфат-иона 100 мг/л и выше (при характерных для этих районов содержаниях в 5-10 мг/л). Аномальные содержания сульфат-иона в этих водах, а также аномальные значения рН и коэффициент  $SO_4/CO_3$  или  $SO_4/HCO_3$ , связаны с окислением вторичных сульфидов железа, образовавшихся благодаря бактериальной деятельности, поэтому площади распространения

данных вод является безрудными природными гидрохимическими аномалиями.

д. На Украине в пределах распространения мощных толщ осадочных отложений наблюдаются замкнутые отрицательные формы рельефа, выполненные полевошпатовыми песками, выходящими на поверхность или залегающими под покровом рыхлых отложений. Грунтовые воды, приуроченные к этим пескам, часто содержат цинка более 1 мг/л, что объясняется наличием цинка в обломках полевых шпатов, слагающих пески, сравнительно слабой устойчивостью этих песков по отношению к химическому выветриванию, интенсивностью процессов этого выветривания, слабой интенсивностью водообмена. Энергичное химическое выветривание в отрицательных формах рельефа обуславливается сравнительно высокой среднегодовой температурой, характерной для этих районов и обогащенностью вод угольной и органическими кислотами вследствие развития растительного покрова и активной деятельности микроорганизмов.

Из приведенных примеров видно, что во многих случаях отличить безрудную природную гидрохимическую аномалию от рудной можно лишь после тщательного анализа геологических и гидрогеологических условий района распространения этой аномалии. Этот анализ очень часто облегчается при выяснении некоторых особенностей химического состава вод.

Так, в некоторых случаях химический состав трещинно-жильных вод в тектонических зонах обладает особенностями, не присущими водам рудных аномалий или даже противопоказанными для этих вод, например, повышенным содержанием гидрокарбонат-иона. В кислых сульфатных водах, развитых в некоторых болотах Среднего Урала, не связанных с влиянием рудных тел, обычно наряду с резко пониженными величинами рН и высокими содержаниями железа, содержания

таких металлов, как медь, свинец и цинк не повышены или повышены весьма незначительно. В то время как рудные воды медноколчеданных месторождений Среднего Урала при низких величинах pH обязательно имеют высокое содержание меди и часто цинка и свинца, сульфатные ореольные воды первичных ореолов рассеяния этих месторождений обычно имеют значение pH, близкое к нейтральному.

Очень часто по размерам площади, замкнутости её контуров и контрастности безрудные природные гидрохимические аномалии занимают промежуточное положение между площадями, характерными, с одной стороны, для фоновых вод и, с другой, — для рудных гидрохимических аномалий. Для природных безрудных аномалий, вызванных влиянием пород, обогащенных непромышленной концентрацией каких-либо металлов, обычно характерны аномальные значения одного-двух компонентов минерализации, для аномалий же, вызванных влиянием рудных тел, характерны аномальные значения комплекса компонентов минерализации, причем в этот комплекс входят не только металлы, определяющие промышленную ценность рудных тел, но и другие элементы, характерные для этих тел.

В противоположность искусственным безрудным гидрохимическим аномалиям изучение природных безрудных аномалий не заканчивается выяснением их источника возникновения. Изучение их продолжается при интерпретации рудных аномалий и установлении их пространственных связей с возможным местоположением рудных тел. Необходимость дальнейшего изучения безрудных природных аномалий определяется следующими двумя обстоятельствами.

I. Большая часть безрудных природных аномалий, не являясь непосредственно объектом поисков, дает очень много для поисков

и интерпретации природных рудных аномалий, а также их пространственных связей с возможными наличием рудных тел. Так, при помощи гидрохимической аномалии, совпадающей с тектоническими зонами, можно получить данные для выяснения структуры этих зон и их контролирующей роли по отношению к рудным телам.

Гидрохимические аномалии, вызванные рассеянной (непромышленной) минерализацией пород представляют большой интерес с точки зрения выявления "материнских" пород и их различной перспективности в отношении рудных тел. Интерпретация результатов гидрохимических поисков в работе С.Р. Крайнова (1957 г.) пример подобного использования гидрохимических аномалий.

2. Во многих случаях очень трудно отличить природные безрудные аномалии от рудных.

Установление природы рудных гидрохимических аномалий. Гидрохимические аномалии, не интерпретированные как безрудные (искусственные или природные) должны быть отнесены к рудным аномалиям. Одним из главных признаков последних во многих случаях является больший (по сравнению с безрудными) комплекс компонентов минерализации, имеющих аномальные значения. Это обстоятельство объясняется как сложностью химического состава рудных тел, так и часто наблюдающейся агрессивностью растекающихся рудных вод, в результате чего из вмещающих пород переходит значительное количество многих элементов. При расположении гидрохимической аномалии в непосредственной близости от рудного тела состав комплекса компонентов, имеющих аномальные значения, очень близок к ассоциации элементов, входящих в состав рудных тел. По мере удаления гидрохимической аномалии от места расположения рудных тел это сходство может уменьшаться как



вследствие снижения аномальных значений до фоновых некоторых наименее устойчивых в водах компонентов минерализации, так и вследствие образования аномальных значений других компонентов минерализации в результате воздействия агрессивных вод на вмещающие породы. В некоторых случаях металлы, определяющие промышленную ценность рудных тел для этого комплекса могут быть не характерны, а иногда могут и совсем не входить в него. Так, на Южном Урале наиболее характерными признаками рудных гидрохимических аномалий медноколчеданных месторождений является аномальное содержание в водах молибдена и мышьяка. Минералы этих элементов почти всегда входят во все медноколчеданные тела этого района и в то же время более устойчивы в водах повышенные содержания молибдена и мышьяка, чем меди.

Кроме того, в результате широкого распространения на Южном Урале пород с повышенными, против кларка, содержаниями меди, аномальные содержания этого металла в водах не могут быть характерным признаком рудных тел.

Для рудных аномалий, связанных с краевыми зонами ореольных вод или с ореольными водами, образованными под влиянием солевых потоков рассеяния в породах или находящихся в условиях высокой карбонатности окружающей обстановки, указанный комплекс, ограниченный аномальными значениями одного-двух компонентов минерализации, может быть очень беден. Такое обеднение комплекса обычно связано с повышением pH воды и содержания гидрокарбонатного иона, с увеличением общей минерализации воды или же с наличием условий, благоприятствующих образованию солевых потоков рассеяния, в то время как для природных безрудных аномалий малое количество компонентов минерализации, имеющих аномальное содержание, весьма характерно и не сопровождается какими-либо особыми условиями.

При интерпретации рудных аномалий в первую очередь необходимо установить, к какому классу рудных аномалий относится интерпретируемая аномалия в соответствии с классификацией, приведенной в главе II. Ориентировочно класс рудной аномалии может быть установлен на основании признаков, перечисленных в табл. 7 главы II. При этом необходимо весьма внимательно оценивать геолого-гидрогеологические условия, которые могут оказать влияние на изменение миграционных способностей компонентов минерализации. Основной фактор, определяющий условия миграции компонентов минерализации вод, а также условия окисления сульфидов - карбонатность геохимической обстановки - учтен в табл. 7. Но помимо этого фактора, на условия миграции влияют еще целый ряд причин: величина pH и общая минерализация воды, её химический тип, содержание углекислоты и сероводорода, окислительно-восстановительный потенциал, характер пустот в породах, по которым передвигается вода, интенсивность водообмена и т.д. Правильно учесть их влияние на миграционные способности компонентов минерализации, а следовательно, и на изменение признаков, перечисленных в табл. 7, можно лишь при вдумчивом анализе химического состава вод и геолого-гидрогеологической обстановки водоисточников, из которых отобраны пробы воды.

В табл. 7 для каждого класса рудных вод приведен ряд гидрохимических поисковых признаков. Проявление того или иного признака зависит не только от условий миграции компонентов минерализации, но и от металлогенических особенностей изучаемого района. Например, для рудных вод в некарбонатной обстановке гидрохимическими поисковыми признаками может явиться обнаружение в водах  $Cd$ ,  $Co$ ,  $In$ ,  $Be$ ,  $Sn$ , и повышение содержаний  $Cu$ ,  $Pb$ ,  $Mo$ . Но для одних районов присутствие в рудах, например,  $Sn$  или  $In$  является весьма обычным и характерным, для других, напротив, рудные тела характеризуются отсутствием этих элементов. То же можно сказать и в от-



ношении молибдена, мышьяка и почти всех компонентов минерализации (за исключением сульфат-иона, pH и отчасти цинка), являющихся гидрохимическими поисковыми признаками. Последние показатели обнаруживаются в водах, на которые оказывают влияние окисляющиеся сульфидные тела любого минералогического состава. Следует отметить, что использование в качестве признаков класса гидрохимических аномалий первичных ореолов рассеяния *Ag, Be, Li* основывается лишь на единичных данных, использование бора и фтора только на теоретических предположениях, так как до настоящего времени в практике гидрогеохимических поисков содержания этих элементов не только не интерпретировались, но не определялись.

Во многих случаях после ориентировочного определения классов рудных гидрохимических аномалий для более точного и детального выяснения их природы устанавливаются виды рудных и ореольных вод, отображаемые интерпретируемыми аномалиями. Это определяется анализом геолого-гидрогеологических условий.

Необходимость такой детальной интерпретации природы рудных аномалий вызывается следующими обстоятельствами.

1. В некоторых случаях определение только класса рудной гидрохимической аномалии еще недостаточно для выявления пространственных связей аномалии с возможными рудными телами. Данные табл. 7 не дают возможности установить, связана ли гидрохимическая аномалия с окисляющимися или с неокисляющимися сульфидными рудными телами.

2. Наиболее точное определение видов рудных и ореольных вод, отображенных гидрохимической аномалией, позволяет с большей вероятностью выявлять пространственные связи аномалий с возможными рудными телами.

3. Часто различные классы рудных аномалий могут иметь очень сходные комплексы гидрохимических поисковых признаков. Так, гидрохимические аномалии рудных вод и гидрохимические аномалии вторичных ореолов, отображающие ореольные воды механических вторичных ореолов рассеяния, представленных в основном сульфидами, могут иметь почти одинаковые комплексы гидрохимических поисковых признаков. Анализ геолого-гидрогеологических условий позволяет более точно установить вид этих вод, имеющих различные пространственные соотношения с рудными телами.

4. В карбонатной обстановке, в условиях которой гидрохимические аномалии рудных и ореольных вод и вод вторичных ореолов могут характеризоваться лишь аномальными содержаниями сульфат-иона, выявление классов рудных вод возможно только при детальном анализе геолого-гидрогеологических условий, как это было указано в начале данного раздела. Для ореольных вод, обладающих зональностью, необходимо выявить эту зональность и её последовательность (см. рис.19).

При изучении некоторых видов ореольных и рудных вод большую помощь оказывают гидрохимические профили. Например, гидрохимический профиль, изображенный на рис. II, пересекает сложную гидрохимическую аномалию. В пределах её контуров можно выделить несколько участков (рис. II, участки 1, 2 и 3). Участок I, очевидно, является аномалией рудных вод, так как среди признаков, характеризующих его, имеются аномальные содержания свинца. Это предположение подтверждается и расположением водоисточников близ контакта известняков с гранодиоритами.

Для аномальных участков 2 и 3 характерны повышенные содержания цинка и сульфат-иона; повышенные содержания свинца в данном случае не отмечены, причем для участка 2 не наблюдалось повышенных содер-

заний цинка. Можно предположить, что участки 2 и 3 представляют собой гидрохимическую аномалию, отображающую ореольные воды растекающихся рудных вод. Но водопункт 355, расположенный в пределах участка 3, имеет повышенные содержания цинка, причем между ним и участком рудных вод расположены водопункты 360 и 362, для которых не установлены повышенные содержания цинка. Все это заставляет предполагать в пределах участка 3 наличие гидрохимической аномалии, отображающей ореольные воды вторичных солевых ореолов. Последнее предположение подтверждается и геолого-гидрогеологическими условиями в месте расположения водоисточника 355 (выпаживание рельефа и наличие рыхлых аллювиальных и делювиальных отложений).

Гидрохимические профили оказывают большую помощь не только при анализе природы рудных гидрохимических аномалий, но и при выявлении безрудных природных гидрохимических аномалий.

Одной из задач интерпретации природы рудных гидрохимических аномалий является выяснение возможного минералогического состава рудных тел, являющихся причиной их возникновения. Как правило, более или менее полное представление о возможном минералогическом составе рудных тел может дать рассмотрение химического состава рудных вод или ближайших к ним зон ореольных вод, образующихся вследствие растекания рудных вод. В этих случаях чаще всего металл, определяющий промышленную ценность рудного тела, встречается в наиболее значительных содержаниях и в максимальном количестве водоисточников. По появлению в рудных водах редко встречающихся элементов можно судить о наличии в рудном теле металлов - примесей, имеющих промышленную ценность, иногда даже большую, чем более распространенные металлы.

Общее представление о формации, к которой принадлежит рудное месторождение, дает анализ ассоциаций гидрохимических поисковых признаков. Но и в этих случаях правильное и полное представление о минералогическом составе рудных тел можно получить не всегда. Если металл, определяющий промышленную ценность рудного тела, обладает слабыми миграционными способностями, то он может быть не обнаружен даже в рудных водах. Примером таких месторождений служат месторождения вольфрама; в этом случае в рудных водах вольфрам почти всегда отсутствует. В таких водах могут быть не обнаружены и весьма ценные металлы - примеси, например, германий, содержание которого обнаруживается лишь в рудных водах с очень низким pH или в том случае, если рудные воды развиваются в сильно щелочных с повышенной температурой водах. О том, какие металлы, содержащиеся в рудных телах, отражаются на химическом составе рудных вод и на ближайших к ним зонах ореольных вод, в самом общем виде (для наиболее типичных условий) - по перечню гидрохимических поисковых признаков гидрохимических аномалий, приведенных в табл. 7. По химическому составу других видов ореольных вод (кроме ближайших зон ореольных вод) судить о минералогическом составе рудных тел обычно нельзя. Это объясняется тем, что при формировании почти всех ореольных вод кординально изменяется их химический состав. Так, рудные воды, циркулирующие в медно-колчеданном рудном теле, обычно характеризуются высокими содержаниями меди, цинка, свинца и сульфат-иона. Наиболее же удаленные зоны ореольных вод и особенности ореольные воды вторичных солевых потоков могут иметь лишь высокие содержания цинка и сульфат-иона. Но в отдельных случаях изучение химического состава этих вод может дать некоторое представление о минералогическом

составе рудных тел. Для молибденовых рудных тел, например, повышенные содержания молибдена обнаруживаются и в наиболее удаленных зонах ореольных вод, а иногда и в ореольных водах вторичных солевых потоков. Такие же содержания молибдена в этих водах могут быть обнаружены и для медно-молибденовых месторождений, причем в обоих случаях медь может быть или совсем не обнаружена, или содержание её не будет превышать фоновых значений. Последнее обстоятельство указывает, что при интерпретации химического состава ореольных вод для получения данных о минералогическом составе рудных тел необходим очень внимательный анализ возможных изменений химического состава этих вод в процессе формирования.

Интерпретацию природы гидрохимических аномалий необходимо выполнять и после окончания обследования всего района гидрохимических поисков или части его, и одновременно с проведением полевых исследований по мере накопления достаточного количества данных. В процессе такой интерпретации часто возникает необходимость в дополнительных данных, характеризующих геолого-гидрогеологические условия и химический состав вод. Получение этих данных осуществляется после вторичного посещения участка интерпретируемой аномалии.

При интерпретации природы гидрохимической аномалии может быть выявлена особая промышленная перспективность этой аномалии, что повлияет на дальнейший ход полевых работ. Поэтому и рекомендуется выполнять такую интерпретацию в полевой период, используя результаты окончательной интерпретации для всего района исследований лишь с целью проверки выводов, сделанных в поле.

Детальность интерпретации гидрохимических аномалий в значительной степени зависит от того, на каком этапе гидрогеохимических поисков она производится. Так, если интерпретация производится на рекогносцировочном этапе, то речь может идти лишь об интерпретации природы полей гидрохимических аномалий, поскольку единичные аномалии при масштабе этих работ в силу своих размеров не обнаруживаются или обнаруживаются только случайно. Интерпретация в этом случае может заключаться в том, что площади рудных гидрохимических аномалий отделяются от площадей с измененным значением фоновых содержаний. Она заключается также в выявлении общих геологических условий, которые дадут возможность установить природу, а также ценность данного поля аномалий.

При съемочном этапе производится отбраковка всех безрудных искусственных гидрохимических аномалий, выявление безрудных естественных аномалий, а также определение классов рудных аномалий.

Более детально интерпретация природы рудных гидрохимических аномалий производится только с целью уточнения класса аномалий и оценки её перспективности. Во многих случаях класс рудных гидрохимических аномалий, входящих в состав полей, определяется только для наиболее крупных или наиболее перспективных аномалий по гидрохимическим поисковым признакам, характеризующим их.

На поисково-разведочном этапе детально интерпретируется природа рудных аномалий, причем это выполняется, как правило, только для аномалий перспективных. Также детально интерпретируется происхождение безрудных природных аномалий, имеющих значение для выяснения пространственного размещения рудных тел.

Детальность интерпретации природы рудных аномалий также зависит от их перспективности (см. раздел 5). Интерпретация природы гидрохимических аномалий производится с учетом простран-

ственной связи аномалий с местоположением рудных тел и по возможности одновременно.

4. Установление пространственной связи гидрохимических аномалий с местоположением рудных тел. Основная задача этих работ - установление площадей, перспективных для дальнейших более детальных поисков и вскрытия рудных тел буровыми скважинами и горными выработками.

Направление и характер интерпретации собранных материалов, производимой для установления пространственной связи гидрохимических аномалий с возможными рудными телами, прежде всего определяется классом аномалий и генетическими видами рудных и ореольных вод, которые они отображают, и гидрогеологическими условиями, в которых наблюдаются гидрохимические аномалии.

В графе 5 табл. 7 приведены основные типы пространственных взаимоотношений гидрохимических аномалий различных классов и возможных рудных тел. На рис. 1 - 5 приведены схематические примеры зависимости от гидрогеологических условий пространственных взаимоотношений аномалий и рудных тел.

Из характеристики этих взаимоотношений вытекают основные моменты, которые необходимо выяснить с помощью анализа геолого-гидрогеологической обстановки в том или ином случае, а также и основные способы проведения этого анализа. Рассмотрим пространственные взаимоотношения рудных тел для рудных гидрохимических аномалий различных видов.

Аномалии рудных вод. Рудные тела располагаются в пределах площади ее распространения или в непосредственной близости от нее. Расстояния между водоисточниками, в которых были обнаруже-

ны признаки аномалий рудных вод, до рудных тел обычно не превышают нескольких десятков метров. Таким образом, выявление рудных месторождений сводится к нахождению в пределах этой площади участка, имеющего наиболее благоприятные предпосылки для залегания рудных тел и к установлению возможной глубины залегания рудного тела.

Показателями такого участка являются следующие признаки:

1. Появление в подземных водах элементов, повышенные содержания которых могут распространяться от рудных тел на минимальные расстояния ( $Ba$ ,  $Zn$ ,  $Co$ ). При этом принимаются во внимание условия миграции этих элементов. При наличии малой карбонатности окружающей обстановки и интенсивном окислении сульфидов, в результате которого в больших количествах выделяется серная кислота, воды с низким рН могут распространяться на значительные (сотни метров) расстояния от рудного тела. В такой обстановке повышенные содержания кобальта прослеживаются также на значительные расстояния от рудного тела и, следовательно, наличие их затруднительно использовать для установления возможного месторождения рудного тела.

2. Наиболее высокие содержания сульфат-иона, меди, цинка, железа и других металлов. В данном случае необходимо учитывать изменения интенсивности процессов окисления сульфидов. Резко повышенные содержания сульфат-иона, железа, меди и цинка могут появляться на отдельных участках не вследствие близкого расположения их (участков) к рудному телу, а в связи с повышением интенсивности окислительных процессов.

3. Благоприятная для залегания рудных тел геологическая ситуация. Для медноколчеданных месторождений Урала это будут участки, расположенные вдоль выходов альбитофиров.

В общем случае для аномалий рудных вод глубина залегания рудных тел обычно близка к глубине залегания подземных вод, из которых был произведен отбор проб. Возможная глубина залегания рудных тел увеличивается в том случае, если подземные воды приурочены к малоактивным (силикатным) породам, или же представляют собой трещинно-жильные воды, передвигающиеся по зияющим трещинам, имеющие повышенную температуру либо высокое содержания углекислоты.

Весьма большое значение для установления пространственных взаимоотношений гидрохимических аномалий рудных вод и рудных тел имеет детальное изучение гидрогеологических условий и прежде всего установление типов вод, к которым приурочивается аномалия, направления их движения и характер взаимосвязи водоносных горизонтов между собой и с поверхностными водами, а также интенсивность водообмена. Все эти факторы позволяют установить направления, в которых могут находиться рудные тела, и уточнить возможные расстояния ( глубины ) до рудных тел в связи с тем, что эти факторы определяют миграционные способности компонентов, аномальные значения которых являются гидрохимическими поисковыми признаками.

Для уточнения возможных расстояний (глубин) до рудных тел весьма важно также установление карбонатности окружающей обстановки и характера рудных тел, являющихся источником возникновения рудных вод. Все вышеперечисленные моменты устанавливаются как по данным анализа уже имеющихся в результате проведенных поисков материалов, так и по дополнительным данным. Для этого необходимо:

а) дополнительно обследовать имеющиеся водосточники с целью

уточнения гидрохимической характеристики аномалии и гидрогеологических условий, в которой она находится;

б) провести горно-буровые работы с той же целью и, кроме того, с целью уточнения геологического строения и минералого-геохимической характеристики площади аномалий и прилегающих к ней участков;

в) провести геоморфологическую и минералого-геохимическую съемку площади аномалии и прилегающих к ней участков;

г) провести металлометрические и геофизические исследования с целью уточнения возможного месторасположения и глубины залегания рудных тел;

д) провести буровые и горные работы для вскрытия рудных тел.

Проведение всех дополнительных работ должно обосновываться их необходимостью и возможными результатами. Как правило все работы проводятся в последовательности от менее трудоемких к более трудоемким. Не следует забывать, что одной из главных задач всех этих работ является вскрытие при помощи горно-буровых работ рудных тел, а поэтому излишний объем менее трудоемких, но вспомогательных работ может привести лишь к их удорожанию. При проведении вспомогательных работ главным образом гидрохимического характера (см. выше пункты "а" и "б") выделяются участки, перспективные для выполнения дальнейших более детальных исследований; при проведении вспомогательных работ различного характера ( пункты "б", "в" и "г") устанавливаются места расположения и возможные глубины бурения скважин или горных выработок, предназначенных для вскрытия рудных тел.

Аномалии ореольных вод, образовавшихся вследствие растекания рудных вод. Рудные тела обычно располагаются выше (по отношению к направлению современного стока) площади распространения этой аномалии. Расстояние от водосточников, в которых установлены признаки гидрохимических аномалий этого класса до рудных тел, изменяется

от нескольких десятков метров до I км и несколько больше. Чтобы установить возможное местоположение рудного тела, прежде всего необходимо точно выяснить направление движения вод, с которыми связана данная гидрохимическая аномалия. Это осуществляется при помощи обычного гидрогеологического анализа и определения направления, в котором происходит изменение гидрохимической зональности аномалии и убывание контрастности тех или иных гидрохимических поисковых признаков.

Гидрохимическая аномалия ореольных вод иногда в связи с отсутствием достаточного количества водоисточников может занимать лишь часть площади распространения ореольных вод, образовавшихся вследствие растекания рудных вод. В данном случае (рис.20) гидрохимическая аномалия занимает лишь небольшую по направлению движения грунтовых вод часть площади распространения ореольных вод.

Рудные тела обычно располагаются в непосредственной близости от верхней границы площади распространения ореольных вод. Поэтому необходимо точно определить, проявляется ли данная гидрохимическая аномалия на всей площади распространения ореольных вод или лишь на определенной её части.

Если данный вопрос решить невозможно, то необходимо вести поиски возможных мест расположения рудных тел выше верхней границы гидрохимической аномалии (по направлению движения подземных вод). Расстояние от верхней границы аномалии до площади возможного залегания рудных тел не будет превышать длину пути миграции аномальных значений гидрохимических поисковых признаков, свойственных данной аномалии.

При выявлении гидрохимических особенностей очень важно точно установить, с каким видом ореольных вод мы имеем дело в данном случае, а также проанализировать условия, определяющие миграцию компонентов минерализации (см. главу I).

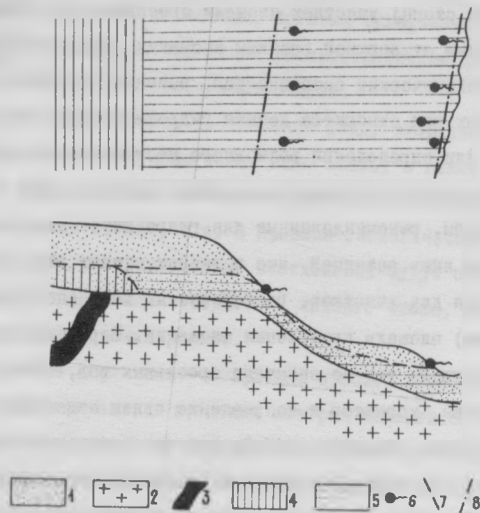


Рис. 20. Карта и профиль по участку распространения рудных и ореольных вод

I - рыхлые отложения; 2 - гранодиориты; 3 - рудное тело; 4 - рудные воды; 5 - ореольные воды, образовавшиеся за счет растекания рудных вод; 6 - источник; 7 - уровень грунтовых вод; 8 - контуры гидрохимических аномалий

Так для обстановки, показанной в схеме на рис.20 можно предполагать, что гидрохимическая аномалия проявляется на нижних (по направлению стока) участках площади ореольных вод. Насколько удалены эти участки от верхней границы аномалии, можно установить при анализе гидрохимических особенностей, выяснив, например, к какой зоне ореольных вод относится данная гидрохимическая аномалия.

Для определения возможного местонахождения рудного тела по гидрохимической аномалии ореольных вод могут быть также использованы способы, рекомендованные для гидрохимических аномалий рудных вод, с той лишь разницей, что в данном случае эти способы должны применяться для участков, расположенных выше (по направлению современного стока) площади проявления аномалии. Определяя возможное расположение рудных тел по аномалии ореольных вод, особенно важно установить наличие, характер и направление связи отдельных типов и горизонтов подземных вод между собой, так как ореольные воды могут распространяться на несколько типов и горизонтов подземных вод. Если гидрохимическая аномалия выявляется по восходящим или нисходящим водам выходящих в глубоких эрозионных врезях источников, то для определения возможной глубины залегания рудных тел важно знать расстояние, в пределах которого может проявляться аномальное содержание тех или иных компонентов минерализации. Установив, для каких компонентов минерализации обнаружены аномальные значения и какие компоненты не обнаружены, а также в каком направлении движутся подземные воды можно примерно определить глубину и место залегания рудных тел.

Гидрохимические аномалии первичных и вторичных ореолов рассеяния в породах по отношению к этим аномалиям местоположение рудных тел в основном определяется пространственным соотношением этих ореолов с рудными телами.

Гидрохимическая аномалия обычно совпадает с площадью распространения первичных и вторичных ореолов, несколько выходя за их пределы по направлению движения вод. Но если аномалия возникает под влиянием механических ореолов (потоков) рассеяния, богатых сульфидами, в условиях интенсивного окисления, то она может распространяться на значительное расстояние, за пределы ореолов рассеяния.

Для выявления пространственных соотношений между вторичными ореолами (потоками) рассеяния и рудным телом надо знать, в какой обстановке формировался вторичный ореол: в условиях, соответствующих современному или отличающихся от них, т.е. в прошлые геологические эпохи. В первом случае эти пространственные соотношения будут определяться современными особенностями твердого и жидкого стока, во втором - условиями, существовавшими раньше.

Очень часто аномалии первичных и вторичных ореолов располагаются на площади сложной аномалии, в пределах которой выделяются аномалии рудных и ореольных вод. В этом случае местоположение аномалий, связанных с первичными и вторичными ореолами рассеяния, служит вспомогательным признаком для распознавания структуры сложной аномалии и для выяснения направления твердого и жидкого стока. Выяснение возможного местоположения рудных тел производится на основании распространения аномалий рудных вод, а при отсутствии таковой, по распространению аномалий ореольных вод.

В тех случаях, когда аномалии первичных и вторичных ореолов проявляются самостоятельно, возможные местоположения рудных тел определяются на основании пространственных соотношений рудных тел и первичных (поиски по первичным ореолам и гидротермально измененным породам) или вторичных ореолов рассеяния месторождений (поиски по вторичным ореолам рассеяния). Площади распространения аномалий пер-

вичных и вторичных ореолов рассеяния при этом могут служить отправным пунктом для выявления аномалий рудных и ореольных вод.

Таким образом, для установления мест возможного залегания рудных тел гидрохимические аномалии первичных и вторичных ореолов имеют лишь вспомогательное значение. Оконтуривание площадей распространения этих аномалий используются лишь для установления участков распространения первичных и вторичных ореолов рассеяния месторождений или гидрохимических аномалий рудных и ореольных вод.

Некоторые общие вопросы. Выше указывалось, что в некоторых случаях одна сложная гидрохимическая аномалия может отображать влияние не одного, а нескольких рудных тел. Пример сложной гидрохимической аномалии приведен на схематическом плане, помещенном на рис.21. Здесь в пределах контуров распространения кислых вод располагается гидрохимическая аномалия, связанная с растеканием рудных вод рудного тела А и с вторичным механическим ореолом (потоком) рассеяния этого рудного тела. Самая левая аномалия с повышенным содержанием меди связана с окислением кислыми водами не выходящего на поверхность рудного тела Б. Расположенные правее гидрохимические аномалии вызваны более интенсивным окислением механического ореола рассеяния рудного тела А. Большая интенсивность окисления в данном случае обусловлена приближением к поверхности механического ореола рассеяния (в связи с депрессиями в рельефе местности).

Все вышесказанное дает основание подчеркнуть, что для установления пространственной связи гидрохимических аномалий с рудными телами необходимо применять различные способы. Какой из способов или какой комплекс этих способов и в какой последовательности они должны применяться - все это в каждом отдельном случае определяется конкретной обстановкой изучаемого района или участка.

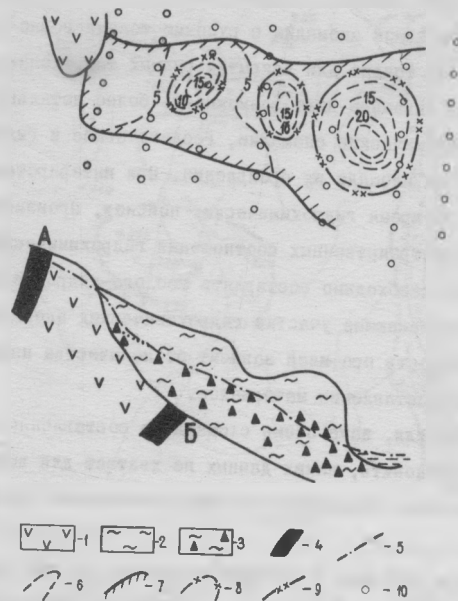


Рис. 21. Карта и профиль площади сложной гидрохимической аномалии, возникшей под влиянием нескольких рудных тел

1 - аффузивные породы; глины; 2 - с прослоями песков, 3 - с обломками рудных пород; глины; 4 - с прослоями песков, 5 - с обломками рудных пород, содержащие вторичные сульфиды (вторичный механический ореол рассеяния рудного тела А); 6 - рудные тела; 7 - уровень подземных вод; 8 - изолинии содержания в воде меди /в мг/л; 9 - контуры распространения кислых вод; 10 - контуры "вторичной" гидрохимической аномалии, возникшей под воздействием рудного тела Б; 11 - контуры "вторичной" гидрохимической аномалии, возникшей под влиянием более интенсивного окисления сульфидов вторичного механического ореола рассеяния рудного тела А /интенсивность окисления увеличивается в результате уменьшения глубины залегания сульфидов/; 12 - буровые скважины



Разумеется вскрытие рудных тел буровыми скважинами или горными выработками должно осуществляться на заключительной стадии выяснения пространственной связи аномалии с рудными телами, лишь после применения всего комплекса других способов. При установлении пространственной связи аномалии с рудными телами горно-буровые работы применяются не только для вскрытия рудных тел. Канавы, шурфы, колуши и мелкие скважины дают возможность более детально охарактеризовать гидрохимические аномалии, геологические и гидрогеологические условия на площади их проявления. При интерпретации данных, собранных во время гидрохимических поисков, произведенных для установления пространственных соотношений гидрохимических аномалий и рудных тел, необходимо составлять геолого-гидрогеологические профили, пересекающие участки гидрохимических аномалий (см. рис. 18 и 22). Детальность профилей зависит от количества накопившихся к моменту их составления материалов.

Часто такие профили, даже очень схематично составленные, позволяют во-время установить, каких данных не хватает для выяснения природы гидрохимических аномалий и их пространственной связи с рудными телами.

Устанавливается тип вод, к которым приурочена та или иная аномалия. В неясных случаях необходимо изучить все компоненты минерализации (в первую очередь макрокомпоненты, определяющие химический тип воды) и интерпретировать характерные черты безрудных природных гидрохимических аномалий. Так, для установления пространственной связи аномалии с рудным телом часто очень важно выяснить, связана ли эта аномалия с восходящими водами, движущимися по тектоническим трещинам, или с нисходящими грунтовыми водами. Если визуальные геологические и гидрогеологические признаки не дают ясной картины зоны тектонического нарушения, то для опреде-



Рис. 22. Карта перспективных участков по данным гидрохимических поисков (Южный Урал)

(По данным Б.А. Воротникова, 1958 г.)

I - эффузивно-осадочная толща и интрузивные породы; 2 - четвертичные отложения; 3 - зона пиритизации; 4 - места отбора гидрохимической пробы и ее номер. Контур гидрохимических аномалий; 5 - рудных вод; 6 - ороельных вод; 7 - первичных ореолов рассеяния; 8 - ороельных вод и первичных ореолов; 9 - контуры участков перспективных для дальнейших поисков; 10 - направление движения предполагаемых рудных и ороельных вод; 11 - уровень грунтовых вод; 12 - предполагаемое местоположение медноколчеданного рудного тела

ления наличия такой зоны очень важно выявить особенности химического состава вод источников, расположенных на данном участке, а следовательно, и установить безрудную природную аномалию.

Наиболее детально и в обязательном порядке устанавливается пространственная связь гидрохимических аномалий с рудными телами на поисково-разведочном этапе проведения гидрохимических поисков.

Установление пространственной связи аномалии с рудными телами необходимо выполнять предварительно и на предыдущих этапах проведения поисков, что позволяет: а) более обоснованно наметить площади для проведения дальнейших работ; б) своевременно выяснить необходимость сбора дополнительных данных и в) уточнить природу гидрохимических аномалий. Гидрохимические поиски обычно проводятся в комплексе с другими поисковыми методами, поэтому места расположения буровых скважин и горных выработок, предназначенных для вскрытия рудных тел, определяются по совокупности материалов, полученных всеми методами поисков. Основными задачами интерпретации гидрохимических аномалий является: 1) установление наиболее перспективных площадей для проведения дальнейших более детальных работ и 2) получение данных для обоснования глубины буровых скважин и горных выработок, предназначенных для вскрытия рудного тела.

Из изложенного выше следует, что площади, перспективные для дальнейших поисков, могут совпадать и не совпадать с площадью гидрохимической аномалии. Для гидрохимических аномалий рудных вод площадь, перспективная для дальнейших поисков, обычно или полностью совпадает с площадью аномалии, или занимает часть её и только иногда несколько выходит за её пределы.

Для гидрохимических аномалий ореольных вод, как правило, площадь, перспективная для дальнейших поисков, находится вне пределов

её площади, выше по направлению движения вод. Только, когда гидрохимическая аномалия приурочена к трещинно-жильным водам, передвигающимся по трещинам крутопадающей тектонической зоны, площадь, перспективная для дальнейших поисков, может занимать какую-то часть этой аномалии. Пример соотношения расположений площадей гидрохимических аномалий и участков, перспективных для дальнейших поисков, показан на рис.22.

5. Оценка перспективности гидрохимических аномалий. В процессе проведения гидрохимических поисков такая оценка прежде всего необходима для выявления площадей, где должны в первую очередь производиться дальнейшие, более детальные работы (в том числе и вскрытие рудных тел).

Перспективность гидрохимической аномалии определяется, с одной стороны, степенью достоверности признаков, устанавливавших её связь с рудными телами и, с другой, - наличием признаков, указывающих на промышленную ценность рудных тел, послуживших источником её образования.

Наиболее достоверным указанием связи гидрохимической аномалии с рудными телами является обнаружение в водах аномальных содержаниях наибольшего количества элементов, характерных для состава рудных тел <sup>1)</sup>, а также других признаков, позволяющих отнести её к виду аномалии рудных вод (см.табл.7).

Перспективность аномалий этого вида увеличивается также в связи с характерными для них малыми расстояниями до рудных тел. Большая или меньшая надежность признаков, характеризующих гидрохимичес-

<sup>1)</sup> Иногда этот комплекс называется "типоморфным комплексом"

где аномалии рудных вод, зависит от интенсивности их аномальности, от увеличения количества этих признаков и от гидрогеологических и геохимических условий, в которых находятся аномалии.

Комплекс характерных элементов наиболее надежным признаком является в тех случаях, когда гидрохимическая аномалия приурочена к грунтовым водам, имеющим pH не ниже 6, когда карбонатность окружающей обстановки высока и водообмен происходит интенсивно, и когда эти аномалии приурочены к небольшим поверхностным потокам, питающимся в основном за счет подземных вод.

Несколько менее надежны эти признаки, когда гидрохимическая аномалия приурочена к трещинно-жилым термальным или углекислым водам ( в связи с тем, что здесь аномальные значения многих компонентов могут образоваться вследствие агрессивного воздействия этих вод на окружающие породы, а не вследствие влияния рудных тел), или подземных вод с замедленным водообменом, или имеющих низкий pH (возможность увеличения расстояния, на которое могут мигрировать в водах характерные элементы в повышенных содержаниях).

Надежность повышенных содержаний металлов, определяющих промышленную ценность рудных тел как признака связи аномалии с рудными телами, уменьшается при увеличении в районе исследования распространенности пород, обогащенных рассеянной минерализацией этих металлов, и интенсивности разрушения этих пород, а также при ухудшении условий для миграции этих металлов в повышенных содержаниях при растекании рудных вод. Следует отметить, что указанные условия в основном влияют на надежность аномальных значений меди и цинка и отчасти свинца. Аномальные содержания таких металлов, как молибден, почти при всех условиях остается надежным признаком связи гидрохимических аномалий с рудными телами.

Надежность такого признака, как сульфат-ион, уменьшается при уменьшении интенсивности водообмена, повышении минерализации вод, наличии процессов вторичного соленакпления, сингенетической засоленности пород в болотах, содержащих вторичные сульфиды, при распространенности пиритизации пород, не связанной с рудными телами, или при распространенности серноколчеданных рудных тел. Эти условия влияют и на надежность пониженного значения pH как признака связи с рудными телами.

Обнаружение всех этих признаков в водах озер и крупных поверхностных потоков не может быть надежным указанием на непосредственную близость рудных тел, так как в таких типах вод повышенные содержания металла и сульфат-иона могут формироваться за счет деятельности ветра, переносящего эти компоненты с большой площади.

Совершенно очевидно, что расположение гидрохимической аномалии на участках с геологическим строением, перспективным в отношении наличия рудных тел, значительно увеличивает надежность всех описанных признаков.

Признаками, позволяющими установить промышленную ценность рудных тел, послуживших источником образования гидрохимической аномалии, являются следующие.

А. Все признаки, позволяющие предполагать большие размеры месторождений. К этим признакам относятся обширность и протяженность гидрохимических аномалий рудных вод и их контрастность. Но при интерпретации этих признаков необходимо очень тщательно проанализировать их зависимость от гидрогеологических и геологических факторов ( возможный минералогический состав рудных тел, их текстура, интенсивность процессов окисления, карбонатность окружающей обстановки, интенсивность водообмена, общие гидрогеологические условия и т.д.), влияние которых может дать тот же эффект, что и большие размеры рудных тел.

Б. Признаки принадлежности рудных тел к месторождениям наиболее ценных металлов (например, золота) или к месторождениям тех металлов, в которых для данного района имеется наибольшая потребность, а также признаки обогащения рудных тел редкими элементами, такими как германий, индий, кадмий, итербий и т.п. К этим признакам относится обнаружение в водах соответствующих металлов или повышенных содержаний их, или же наличие в этих водах повышенных содержаний металлов-спутников (для золоторудных месторождений, например, повышенных содержаний мышьяка и сурьмы). Выше уже указывалось, что все эти признаки для многих металлов в связи с плохой их миграционной способностью чаще всего обнаруживаются в рудных водах.

В. Признаки, по которым можно установить связь аномалий с рудными телами, глубоко залегающими и не выходящими на поверхность (не вскрытые эрозийным врезом или вторично перекрытые осадочными отложениями или эффузивными покровами). Такими признаками прежде всего является приуроченность гидрохимической аномалии к трещинно-жильным восходящим или к нисходящим грунтовым водам, проявляющимся в виде источников, приуроченных к глубоким эрозийным врезам. К этим признакам может быть также отнесена связь гидрохимической аномалии с первичными ореолами рассеяния или погребенными вторичными ореолами (потоками) рассеяния месторождений.

Приведенный перечень признаков, определяющих надежность связи гидрохимической аномалии с рудными телами и ценность последних, показывает, что оценка перспективности гидрохимических аномалий зависит от выяснения их природы, особенности их химического состава и от анализа гидрогеологических и геохимических условий мест расположения этих аномалий.

Методика выяснения всех этих моментов изложена в предыдущих разделах настоящей главы.

Как правило, для проведения дальнейших более детальных исследований и в особенности для проверки и вскрытия рудных тел первоочередными являются гидрохимические аномалии рудных вод. !

При отсутствии аномалии этого класса, а также при хорошо выраженных признаках связи с промышленно ценными (особенно для района исследования) рудными телами и связи с не выходящими на поверхность рудными телами, первоочередными могут быть гидрохимические аномалии и других классов.

Практический опыт оценки перспективности гидрохимических аномалий очень мал, поэтому приходится ограничиваться лишь общими принципами методики производства этих работ. В качестве примера применения этих принципов к конкретным условиям определенного района можно привести "Таблицу оценки перспективности гидрохимических аномалий на Южном Урале" (см. табл. 8). Эта таблица <sup>1)</sup> составлена по данным детально обработанного большого фактического материала, собранного партией Южно-Уральского Геологического управления по геохимии подземных вод районов медноколчеданных месторождений.

В таблице хорошо учтены особенности водных ореолов рассеяния медноколчеданных месторождений, характерные для условий Южного Урала, хотя она не может претендовать на универсальность, так как в ней не учитываются пониженные значения pH, повышенные содержания металла, определяющие промышленную ценность рудных тел и т.д. Оценка перспективности (очередности проведения детальных работ) по этой таблице производится лишь по надежности признаков связи гидрохимической аномалии с рудными телами, без учета возможной ценности самих рудных тел.

Оценку перспективности гидрохимических аномалий следует произ-

1) Доклад Л.А. Логиновой на межведомственном совещании по гидрогеохимическим поискам рудных месторождений, состоявшемся в г. Томске в феврале 1960 г.

водить по результатам всех этапов проведения гидрохимических поисков. Но для рекогносцировочного этапа эта оценка выполняется, как правило, весьма схематично и может осуществляться лишь в отношении полей гидрохимических аномалий и отдельных участков исследуемого района. Особенно тщательной она должна быть на съемочном и поисково-разведочном этапах работ. В первом случае эта оценка определяет выбор площадей для достаточно сложных и трудоемких работ поисково-разведочного этапа; во втором, такая оценка может определять площадь проведения тяжелых горно-буровых разведочных работ. В обоих случаях эта оценка определяет места для первоочередного проведения поисков другими (помимо гидрогеохимического) методами.

В заключение следует отметить, что практический опыт работ по выявлению природы гидрохимических аномалий и установления их пространственной связи с рудными телами, а также оценки перспективности аномалий, весьма незначителен, в связи с чем сами характеристики довольно схематичны и ориентировочны. Поэтому при решении всех перечисленных вопросов необходим анализ конкретных условий исследуемого района.

Таблица 8

Признаки гидрохимических аномалий		Наличие большого количества элементов типоморфного комплекса	Повышенное содержание меди и цинка и одного из главных элементов типоморфного комплекса	Аномальные содержания сульфат-иона или аномальные значения коэффициента $SO_4/CO_3$	
Геологические	Перспективные площади	А	А	Б	
	Площади с неясной перспективностью	А	Б	В	
Гидрогеологические	Подземные воды		А	А	Б
	Поверхностные воды	реки с расходом менее 20 л/сек	А	А	А
		с расходом более 20 л/сек	Б	В	В
		Отдельные плесы	А	А	А
		Низовые болота и заболоченности	А	В	Б
		О з е р а	Б	В	В
	Условия водообмена	Интенсивный	А	А	А
Замедленный		Б	Б	В	

- Примечание: 1. В состав типоморфного комплекса входят повышенные содержания в воде:  $Mo, As, Ag, Pb, Sn, Cu, Zn$
2. В состав главных элементов типоморфного комплекса входят повышенные содержания в воде:  $Mo, As, Ag, Pb, Sn$
3. I - очередь проверки (производство детальных работ по проверке гидрохимических аномалий) - ААА-ААБ  
 II - очередь проверки - АББ, АБВ, АВВ, БББ, ББВ  
 III - очередь проверки - остальные
4. Гидрохимические аномалии, находящиеся в условиях высокой карбонатности окружающей обстановки, переводятся в следующие более высокие категории по очередности проверки.

## КРАТКИЕ ПОЯСНЕНИЯ

терминов и понятий, встречающихся в работе

1. Аномальные значения компонентов и показателей минерализации - количественные значения компонентов и показателей минерализации, отличающиеся от фоновых значений.

2. Величина минерализации подземных вод (минерализация подземных вод, общая минерализация подземных вод) - сумма всех компонентов минерализации, количественно отображаемая весом сухого остатка воды или примерно суммой компонентов минерализации, определяемых при общем химическом анализе воды.

3. Водный ореол рассеяния рудных месторождений - площадь распространения подземных и поверхностных вод, имеющих измененный химический состав в результате воздействия рудных тел и сопровождающих их первичных ореолов рассеяния месторождений и вторичных ореолов, а также потоков рассеяния месторождений.

4. Вторичные ореолы (потоки) рассеяния месторождений - рыхлые или сцементированные в процессе диагенеза продукты разрушения горных пород, обогащенные продуктами разрушения месторождений полезных ископаемых. Во вторичном ореоле рассеяния различают две части: 1) непосредственно прилегающую к месторождению и почве не подвергшуюся перемещению, являющуюся собственно ореолом рассеяния, и 2) область повышенных содержаний продуктов разрушения месторождений, развивающуюся на путях поверхностного или подземного водного, газообразного или твердого стока, прилегающую к собственно ореолу рассеяния - потоку рассеяния месторождения. Совокупность собственно ореола рассеяния и потока рассеяния обычно также называется ореолом рассеяния.

5. Гидрохимическая аномалия - участок водоносного горизонта либо поверхностного водотока или водоема, где обнаруживается аномальный характер химического состава вод (подробнее см. гл. II).

6. Гидрохимические поисковые признаки - все компоненты и показатели минерализации, содержание и значение которых претерпевают изменения под влиянием рудных тел и первичных и вторичных ореолов рассеяния месторождений (подробнее см. гл. I).

7. Гидрохимический профиль - профиль, изображающий пространственное изменение химического состава подземных вод, или же изменение содержания отдельного или нескольких компонентов минерализации или значение одного или нескольких показателей минерализации воды.

8. Зональность (зона) ореольных вод - изменение (обеднение) комплекса компонентов минерализации, имеющих повышенные содержания по мере удаления от границы ореольных вод с рудными.

9. Карбонатность окружающей обстановки - природная обстановка, определяющая величину pH вод и содержание в них гидрокарбонатного иона, а следовательно, и содержание  $\text{CO}_2$  и  $\text{CO}_3$ . В большинстве случаев контролем содержания микрокомпонентов минерализации подземных вод являются гидроокиси и карбонаты, поэтому карбонатность окружающей обстановки имеет большое значение для условий миграции микрокомпонентов в подземных водах.

10. Компоненты минерализации подземных вод - все вещества (за исключением молекул  $\text{H}_2\text{O}$ ), входящие в состав воды в виде ионов (простых и комплексных), атомов, молекул и коллоидов, не выделяемых простым фильтрованием и невидимых. Иногда растворенные в воде газы выделяются в компоненты газового состава воды.

11. Контрастность гидрохимической аномалии - степень отличия значений гидрохимических поисковых признаков, характеризующих аномалию от соответствующих фоновых значений ( чем больше это отличие, тем контрастнее аномалия).

12. Контроль содержания компонентов минерализации в подземных водах - наиболее труднорастворимое соединение данного компонента минерализации, образуемое им с одним из широко распространенных компонентов минерализации подземных вод (например, с  $CO_3^{2-}$ ,  $HCO_3^-$ ,  $Ca^{2+}$ ). Произведение растворимости этого соединения определяет предел содержания в подземных водах компонентов минерализации.

13. Концентрирование микрокомпонентов минерализации подземных вод - методы выделения из воды микрокомпонентов минерализации. В настоящее время для этого наиболее широко используется выпаривание воды до сухого остатка, соосаждение микрокомпонентов с гидратом окиси алюминия в виде сульфидов (метод Томского Политехнического института) и соосаждение с сульфидом кадмия (метод Всесоюзного научно-исследовательского института методики и техники разведки). Полученные концентраты обычно используются для количественного спектрального анализа.

14. Макрокомпоненты минерализации подземных вод - компоненты минерализации, являющиеся в одном или в нескольких химических типах подземных вод преобладающими по содержанию среди всех остальных компонентов минерализации или только среди анионной или катионной части минерализации подземных вод.

К макрокомпонентам относятся  $Cl, Na, Ca, Mg, SO_4, HCO_3$  (они являются преобладающими анионами или катионами в ряде химических типов подземных вод регионального распространения),  $Fe, Mn$  (пре-

обладающим катионами могут быть только в локальных подземных водах, имеющих низкий pH), кремний (преобладающий компонент минерализации некоторых локальных типов грунтовых и поверхностных вод с очень малой минерализацией и в акротермах).

15. Метод аналогии - метод установления аномальных значений минерализации, служащих гидрохимическими поисковыми признаками (подробнее см. гл. III, раздел "Установление гидрохимических поисковых признаков").

16. Метод вариационных кривых - то же

17. Метод вертикальных колонок - то же

18. Метод известного месторождения - то же

19. Метод сравнения - см. гл. III - то же

20. Метод средних фоновых значений - то же

21. Механические ореолы (потоки) рассеяния месторождения - ореолы (потоки) рассеяния месторождений образующиеся вследствие рассеяния продуктов разрушения месторождений в твердой фазе, т.е. путем механического разрушения, измельчения и перемещения горных пород и полезных ископаемых.

22. Микрокомпоненты минерализации подземных вод - все компоненты минерализации, не являющиеся макрокомпонентами ( $Li, B, V, P, K, Ti, Cu, Zn, Pb, Mo$  и т.д.).

23. Общий химический состав подземных вод - химический состав подземных вод, в который входят макрокомпоненты, а из микрокомпонентов только калий, обычно определяющийся в сумме с натрием, pH величина минерализации и иногда окисляемость.

24. Ореольные воды - внешняя часть водного ореола рассеяния, химический состав которого формируется вследствие растекания рудных вод при их взаимодействии с фоновыми водами и вмещающими месторождение породами, а также за счёт взаимодействия растекающихся



рудных и фоновых вод с первичными и вторичными ореолами рассеяния месторождений в породах.

25. Относительно повышенные содержания - содержания компонентов минерализации, повышенные относительно их фоновых значений.

26. Первичные ореолы рассеяния месторождений - зона с повышенным содержанием рудообразующих элементов в коренных породах, образовавшихся до или во время локализации рудных тел.

27. Поисково-разведочный этап проведения гидрогеохимических поисков - гидрогеохимические поиски, проведенные на геологической основе крупных масштабов. Основной задачей проведения гидрогеохимических поисков на этом этапе является установление пространственной связи гидрохимических аномалий с рудными телами и оконтуривание мест расположения этих тел, обоснование глубин и местоположения горных выработок и буровых скважин, предназначенных для вскрытия рудных тел. Поисково-разведочный этап гидрогеохимических поисков обычно проводится после съемки.

28. Показатели минерализации подземных вод - показатели, определяющие особенности минерализации подземных вод, и сами в свою очередь определяемые химическим составом (минерализацией) подземных вод. К ним относятся: pH, окислительно-восстановительный потенциал, величина минерализации, окисляемость.

29. Предел содержания компонента минерализации подземных вод - возможная величина содержания компонента минерализации, которая определяется: а) произведением растворимости соединения, являющегося контролем содержания для данного компонента минерализации, и б) содержанием в подземных водах компонента минерализации, входящего с ним в это соединение.

30. Реконгноспровочный этап проведения гидрогеохимических поисков - самые мелкомасштабные гидрогеохимические поиски, проводимые обычно на геологической основе масштаба 1 : 2 00 000 и

мельче. Основной задачей проведения гидрогеохимических поисков этого масштаба является выяснение общей геохимической и металлогенической характеристики изучаемой территории и целесообразность более детальных поисков.

31. Рудничные воды - воды, откачиваемые из горных выработок проходимых для эксплуатации рудных месторождений; представляют собой в основном рудные воды, но обычно с более интенсивно измененным химическим составом в результате более энергичного окисления сульфидных минералов, находящихся под влиянием создаваемого горными выработками искусственного притока кислорода воздуха.

32. Рудные воды - внутренняя часть водного ореола рассеяния рудных месторождений. Изменения химического состава этих вод обуславливается разрушением рудных тел и собственно ореола рассеяния их, происходящего при взаимодействии этих геологических образований с фоновыми водами: в результате формирования химического состава рудных вод не только вследствие взаимодействия с рудным телом, но и с собственно ореолом его рассеяния, а также в результате выщелачивания (за геологическое время) рудными водами вмещающих пород, прилегающих к рудному телу площадь, занимаемая этими водами обычно несколько больше размеров рудного тела.

33. Рудообразующие компоненты минерализации подземных вод - компоненты минерализации, образующиеся в результате разрушения рудных тел и первичных и вторичных ореолов рассеяния месторождений, или же компоненты, в результате выпадения которых из подземных вод, могут образоваться минералы рудных тел.

34. Солевой ореол (поток) рассеяния месторождения - ореолы (потоки) рассеяния, образующиеся при миграции продуктов разрушения рудных тел в водных растворах.



35. Степень аномальности содержания компонента минерализации - степень отличия содержания компонента минерализации от его фоновых значений. Иногда различают аномальные содержания, т.е. содержания, степень отличия которых от фоновых значений столь велика, что они могут быть без всякого сомнения отнесены к аномальным содержаниям, и повышенные содержания, степень отличия которых такова, что они хотя и выше типичных фоновых значений, но в некоторых случаях могут быть отнесены и к этим значениям.

36. Съёмочный этап проведения гидрохимических поисков - гидрогеохимические поиски, проводимые на геологической основе средних масштабов ( I : 100 000 - I : 50 000). Основной задачей проведения таких поисков на этом этапе является картирование гидрохимических аномалий и выделение аномалий, наиболее перспективных для дальнейших более детальных поисковых работ. Обычно проводится после рекогносцировочного этапа гидрогеохимических поисков.

37. Фоновые воды - регионально распространенные в районах рудных месторождений воды, химический состав которых не подвергается воздействию рудных тел и первичных и вторичных ореолов рассеяния месторождений.

38. Фоновые значения (величины) - содержания компонентов минерализации и значения показателей минерализации, типичные для фоновых вод. Методы определения фоновых значений см. гл. III, раздел I.

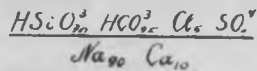
39. Химическая активность пород - свойство пород повышать рН вод, на которые они оказывают влияние. С.С. Смирнов по химической активности подразделяет минералы на следующие группы: "активные"; "полуактивные" и "неактивные". П.А. Удодов, И.П. Онуфриенок и П.В. Кристалов выделяют в этом отношении следующие классы пород: I - активные; II - нейтральные ; III - весьма слабоактивные; IV - по-

вышенно активные; V - сильно активные. Химическая активность пород является одним из факторов, определяющих карбонатность окружающей обстановки.

40. Химический тип подземных вод - соотношение по величине содержания анионов и катионов макрокомпонентов, а также нитрат-ион. В названии химического типа вод впереди ставится название ионов, имеющих большие содержания.

Названия анионов ставятся впереди названий катионов. В зависимости от степени детальности характеристики химического типа вод или необходимости выделить ту или иную особенность химического типа, он может быть назван по одному аниону или по одному катиону, или по двум анионам, или по двум катионам, или, наконец, по двум анионам и двум катионам. Так, например, воды, состав которых выражен формулой  $\frac{SO_4^{2-} Ca_{12} Na_{12} Mg_{20}}{Ca_{12} Na_{12} Mg_{20}}$ , могут быть названы сульфатными или кальциевыми водами, или сульфатно-гидрокарбонатными, или кальциево-натриевыми, или сульфатно-кальциевыми или сульфатно-гидрокарбонатно-кальциево-натриевыми.

В тех случаях, когда нитрат-ион ( $NO_3^-$ ) или ферро = ( $Fe^{+2}$ ) или ферри = ( $Fe^{+3}$ ) ион, или ионы алюминия  $Al^{+3}$ , или кремния ( $Si^{+2}$ ) стоят по величине своего содержания на первом, втором или третьем месте среди анионов или катионов, название химического типа может отражать множество названий анионов и катионов. Так, воды состав которых выражен формулой  $\frac{SO_4^{2-} Ca_{12} NO_3^-}{Fe^{+2} Al_{20} Ca_{12} Mg_{20}}$ , должна быть названа сульфатно-хлоридно-~~магниево~~-железисто-алюминиево-кальциево-маг-



ниевой; вода, состав которой выражается формулой

В некоторых работах названия химического типа вод строятся иначе: большие по содержанию компоненты минерализации ставятся в конце. Часто в название химического типа вод включают только компоненты минерализации, входящие в формулу Курлова, т.е. имеющие более 25 или 10% мк/экв.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. БЕЛЯКОВА Е.Е. Распределение молибдена в подземных водах некоторых сульфидных месторождений Центр. Казахстана. Сб. "Геохим. поиски рудных месторождений". Тр. I Всесоюз. совещания по геохим. методам поисков рудных месторождений. Под ред. Красникова В.И. Госгеолтехиздат, 1957.

2. БЕЛЯКОВА Е.Е. Миграция металлов в подземных и поверхностных водах Верхне-Кайрактинского района в Центральном Казахстане. Геохимия № 2, 1958.

3. БРОДСКИЙ А.А. Один из методов графической обработки результатов химических анализов подземных вод. Тр. ВСЕГИНГЕО. Вопросы гидрогеологии и инженерной геологии, Госгеолтехиздат, 1953.

4. БРОДСКИЙ А.А. Гидрохимический профиль - один из методов обработки результатов химических анализов подземных вод. Разв. недр № 3, 1954.

5. БРОДСКИЙ А.А. Гидрохимический метод поисков меди. Госгеолтехиздат, 1956.

6. БРОДСКИЙ А.А. Гидрохимический метод поисков рудных месторождений. Госгеолтехиздат, 1957.

7. БРОДСКИЙ А.А. Химизм подземных вод районов рудных месторождений. Гл. X в кн. Н.И. Плотникова, М.В. Сыроватко, Д.И. Щеголева "Подземные воды рудных месторождений". Metallurgizdat, 1957.

8. БУТЕЛЬСКИЙ Ю.Ю. Некоторые особенности миграции цинка, свинца и меди в грунтовых водах полиметаллических месторождений Центрального Казахстана. Геохимия № 1, 1957.

9. БУГЕЛЬСКИЙ Ю.Ю. Результаты гидрохимических исследований в районе Довгалевского месторождения. Сб. Опыт разработки гидрохимических методов поисков рудных месторождений. Госгеолтехиздат, 1959.
10. ВИНОГРАДОВ В.И. О миграции молибдена в зоне гипергенеза. Геохимия № 2, 1957.
11. ВОСТРОКНУТОВ Г.А. Опыт гидрохимических поисков на Среднем Урале. Сб. Опыт разработки гидрохимических методов поисков рудных месторождений. Госгеолтехиздат, 1959.
12. Геохимические методы поисков рудных месторождений. Сб. статей под ред. В.И. Смирнова. Изд. ИЛ, 1954.
13. Геохимические поиски рудных месторождений. Сб. статей под ред. В.И. Красникова. Госгеолтехиздат, 1959.
14. ГИНЗБУРГ И.И. Опыт разработки теоретических основ геохимических методов поисков руд цветных и редких металлов. Госгеолтехиздат, 1957.
15. ДОЛУХАНОВА Н.И. (АН Арм. ССР) Опыт применения почвенно-гидрохимической съемки для поисков месторождений молибдена. Сб. Геохим. поиски рудных месторождений. Тр. I Всесоюз. совещ. по геохим. методам поисков рудных месторождений. Под ред. Красникова В.И. Госгеолтехиздат, 1957.
16. ДОЛУХАНОВА Н.И. Опыт применения гидрохимической съемки на медно-молибденовых месторождениях Армянской ССР. Изд. АН Арм. ССР., Ереван, 1958.
17. КАМЕНСКИЙ Г.Н., КЛИМЕНТОВ П.П., ОБЧИННИКОВ А.М. Гидрогеология месторождений полезных ископаемых. Госгеолтехиздат, 1953.
18. КАПРАНОВ С.Д., ВОРОТНИКОВ Б.А. Некоторые результаты гидрохимических исследований в Восточном Забайкалье. Сб. Опыт разработки гидрохимических методов поисков рудных месторождений. Госгеолтехиздат, 1959.

19. КОМАРОВА Э.В., ПОЛФЕРОВ Д.В. Опыт гидрохимических поисков медно-никелевых месторождений на Кольском полуострове. Сб. Опыт разработки гидрохимических методов поисков рудных месторождений. Госгеолтехиздат, 1959.
20. КОНОНОВА Р.С. Некоторые особенности формирования химического состава подземных вод в Сретенском районе Восточного Забайкалья. Сб. Опыт разработки гидрохимических методов поисков рудных месторождений. Госгеолтехиздат, 1959.
21. КРАЙНОВ С.Р. О возможности применения гидрохимических исследований для решения некоторых металлогенических вопросов. Геохимия, № 5, 1957.
22. КРАЙНОВ С.Р. Опыт применения гидрохимических поисков полиметаллов по сульфат-иону в Армении. Сб. (под ред. В.И. Красникова) Геохимические методы поисков, Госгеолтехиздат, 1957.
23. КРАЙНОВ С.Р. Использование поверхностных потоков родникового питания при гидрохимических поисках рудных месторождений. Разведка и охрана недр, № 4, 1954.
24. КРАСНИКОВ В.И. Комплексные исследования гидросети при поисках. Методика и техника поисков и разведки, № 10-11, 1957.
25. КРАСНИКОВ В.И. Рациональное сочетание поисков с геологическими съемками. Сов. геология, № 1, 1959.
26. МИЛЛЕР А.Д., ДАНИЛОВ В.Я. Солевые ореолы рассеяния редкометалльных пегматитов Кольского полуострова. Геохимия, № 6, 1957.
27. МИЛЛЕР А.Д., ЛИБИНА Р.И. и ДАНИЛОВ В.Я. Определение ниобия в природных водах и вытяжках из рыхлых отложений на месторождениях редкометалльных пегматитов. Сб. Опыт разработки гидрохимических методов поисков рудных месторождений. Госгеолтехиздат, 1959.

28. Опыт разработки гидрохимических методов поисков рудных месторождений. Сб. под редакцией А.А. Бродского и В.И. Красникова. Госгеолтехиздат, 1959.

29. НАВЛОВ В.В. Опыт гидрохимических поисков медноколчеданных месторождений. Сб. Опыт разработки гидрохимических методов поисков рудных месторождений. Госгеолтехиздат, 1959.

30. ПИСЛЕГИНА Е.А. Опыт применения гидрохимического метода поисков медноколчеданных руд. Сб. Материалы по геологии и полезным ископаемым Южного Урала, вып. I. Госгеолтехиздат, 1956.

31. НИТЬЕВА К.Е. К методике гидрохимических поисков редкометалльных месторождений. Сб. Опыт разработки гидрохимических методов поисков рудных месторождений. Госгеолтехиздат, 1959.

32. ПИЩЕРОВА П.И. Особенности миграции микроэлементов в подземных водах полиметаллических месторождений. Кара-Магара. Сб. Опыт разработки гидрохимических методов поисков рудных месторождений. Госгеолтехиздат, 1959.

33. ПОЛИКАРПОЧКИН В.В. Методические рекомендации по проведению гидрохимических поисков рудных месторождений. ОНТИ, Ленинград, 1959.

34. ПОНОМАРЕВ Е.А. Опыт проведения гидрохимических поисков рудных месторождений на Салаире. Бюллетень ОНТИ МГ и ОН СССР, № 6/II. Госгеолтехиздат, 1957.

35. ПОПОВ В.Н., КУЦЕЛЬ Е.Н. К вопросу о методике составления некоторых видов гидрохимических карт. Вопросы гидрогеологии и инженерной геологии, Сб. ВСЕГИНГЕО, № 18, 1959.

36. СВЕШНИКОВ Г.Б. Опыт гидрохимических исследований в Прииртышском районе Рудного Алтая. Сб. Геохимические поиски рудных месторождений в СССР. Госгеолтехиздат, 1957.

37. СВЕШНИКОВ Г.Б. Гидрохимические исследования в основных полиметаллических районах Рудного Алтая. Сб. Новое в методике и технике геологоразвед. работ. Тр. ВИТРа, вып. I, Госгеолтехиздат, 1958.

38. СВЕШНИКОВ Г.Б. Гидрохимические особенности полиметаллических месторождений Рудного Алтая. Сб. Опыт разработки гидрохимических методов поисков рудных месторождений. Госгеолтехиздат, 1959.

39. СМИРНОВ В.И. Геологические основы поисков и разведок рудных месторождений. Изд. МГУ, 1954.

40. СМИРНОВ С.С. Зона окисления сульфидных месторождений. Изд. АН СССР, 1951.

41. СТРЕМЯКОВ А.Я. К вопросу применения гидрохимических поисков рудных месторождений в условиях многолетнемерзлых пород. Разведка и охрана недр, № 3, 1958.

42. СОЛОВОВ А.П. Основы теории и практики металлометрических съемок. Изд. АН Казахской ССР. Алма-Ата, 1959.

43. УДОДОВ П.А., ОНУФРИЕНКО И.П. (ТПИ) Опыт гидрохимических исследований на территории горных массивов Западной Сибири. Сб. Геохимические поиски рудных месторождений. Тр. I Всесоюз. совещан. по геохим. методам поисков рудных месторождений под ред. Красникова В.И. Госгеолтехиздат, 1957.

44. УДОДОВ П.А., ОНУФРИЕНКО И.П., КРИСТАЛЕВ П.В. Химическая активность горных пород и минералов по отношению к ионам водорода. Сб. Опыт разработки гидрохимических методов поисков рудных месторождений. Госгеолтехиздат, 1959.

45. ФЕРСМАН А.Е. Геохимические и минералогические методы поисков. Избранные произведения, т. 2, Изд. АН СССР, 1955.

46. ШАРКОВ В.В., ГЛИКО О.А. Геохимические методы поисков рудных месторождений в зарубежных странах. Разведка и охрана недр, № 3, 1956.

47. ЩЕРБАКОВ А.В. Геохимические критерии окислительно-восстановительных обстановок в подземной гидросфере. Сов. геология, сб.56, 1956.

48. ЯКШИН А.А. Поиски и разведка месторождений полезных ископаемых. Госгеолтехиздат, 1959.

С.Р. Крайнов и С.Д. Капранов

ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ ПРИМЕНЕНИЯ ГИДРОХИМИЧЕСКОГО МЕТОДА  
ДЛЯ ПОИСКОВ НЕКОТОРЫХ НЕСУЛЬФИДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ  
В УСЛОВИЯХ АРИДНОЙ ЗОНЫ И ПРИЛЕГАЮЩИХ К НЕЙ ГОРНЫХ РАЙОНОВ

Гидрохимический метод поисков полезных ископаемых находит все более широкое применение. Наиболее разработанным является гидрохимический метод поисков сульфидных месторождений. В пределах аридных зон наиболее благоприятными для проведения гидрохимических поисков сульфидов являются горные районы с большим количеством водопроявлений. Степные районы в этом отношении менее благоприятны вследствие малого количества водопроявлений, а также вследствие трудностей, возникающих при интерпретации результатов исследований.

Как показали исследования, гидрохимические поиски некоторых несulfидных месторождений могут проводиться на большей части территории аридных зон. В частности, гидрохимический метод может быть успешно применен для поисков месторождений бора. При поисках бора гидрохимические исследования могут быть использованы в следующих двух главных направлениях:

1. Применение собственно гидрохимического метода для поисков месторождений бора по их водным ореолам рассеяния.

2. Оценка перспективности отдельных территорий на вулканогенноосадочные бораты, а иногда и на боросиликаты с помощью изучения бороносности углекислых вод.

В статье рассматриваются лишь гидрохимические поиски месторождений бора по их водным ореолам рассеяния.

Благодаря внутренним факторам миграции (высокий потенциал ионизации в сочетании с малыми радиусами иона) бор образует комплексные анионы, обладающие кислотными свойствами ( $\text{BO}_3$  и др.). В гипергенных условиях обычной формой миграции бора является ортоборная кислота и некоторые полиборные кислоты, <sup>а также их анионы.</sup> Эти кислоты обладают малыми степенями диссоциации и поэтому вытесняются из своих соединений всеми другими кислотами, в том числе и угольной. Это приводит к тому, что бор является весьма активным мигрантом в подземных водах и вместе с такими накапливающимися компонентами, как хлор, бром и другие анионы, длительное время находится в растворе, достигая иногда весьма значительных концентраций в подземных водах.

В настоящее время известно, что многие рудные месторождения, разрушаясь в поверхностных условиях, образуют вокруг себя ореолы расселения отдельных элементов в подземных водах. Образование таких же ореолов происходит и вокруг разрушающихся борных месторождений. Среди борных минералов, дающих промышленные типы месторождений, выделяются две основные группы: бораты и боросиликаты. Разложение этих минералов в поверхностных условиях идет различными путями.

Бораты являются солями борных кислот, к числу которых относятся ортоборная кислота  $\text{H}_3\text{BO}_3$  и более сложные полиборные кислоты (метаборная, пентаборная и т.д.). В соответствии с этим среди боратов выделяются ортобораты, метабораты, пентабораты и т.д. Бораты являются главными минералами многих типов борных месторождений, как гипергенных, так и гипогенных.

Идея применения гидрохимического метода для поисков боратов не является новой. Она много раз высказывалась в работах советских исследователей (М.Г.Валяшко, И.Б.Фойгельсон, А.А.Варов, С.С.Коробов); излагаемое ниже в отношении боратов не является оригинальным.

В основе применения гидрохимического метода для поисков боратов лежат многочисленные эмпирические данные об увеличении содержания бора в грунтовых водах и озерах вокруг скоплений боратов. Например, А.А.Варовым, С.С.Коробовым и некоторыми другими исследователями установлено, что в пределах районов развития соленных куполов повышенные концентрации бора в подземных и поверхностных водах имеют тесную связь с бороносностью каменной соли куполов.

Какие же процессы приводят к обогащению бором вод, взаимодействующих с боратами?

Благодаря работам А.В.Николаева известно, что действие воды на бораты вызывает два главных процесса - растворение и гидролиз. Эти процессы протекают на всех месторождениях независимо от происхождения боратов. В связи с малой растворимостью боратов (см. табл. I) главным из указанных процессов является процесс гидролиза.

Т а б л и ц а I

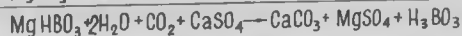
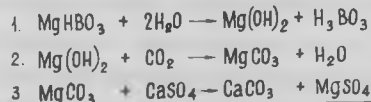
Растворимость некоторых боратов в дистиллированной воде (Замствовано из работы А.Б.Здановского и Е.А.Ляховской)

Минералы	Содержание $\text{B}_2\text{O}_3$ , вес %							
	Селиванова		Спирягина		Кочкин		Здановский и Ляховская	
	при температуре							
	25°	100°	25°	25°	25°	100°		
Амарит	-	-	0,0080	0,0066	0,0085	0,01		
Гидроборацит	0,21	0,45	0,23	0,10	0,08	0,30		
Иньонг	0,285	0,592	0,21	-	0,15	разлаг.		
Калиборит	-	-	0,48-0,52	-	-	-		
Колеманит	0,223	0,383	-	-	-	-		
Пальдермит	0,18	0,40	-	-	0,04	0,08		
Улексит	0,435	0,940	0,47	0,20	0,23	0,60		

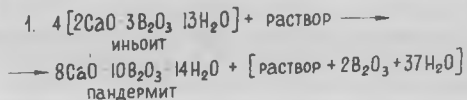
Как уже говорилось, бораты представляют собой соли слабых кислот, которые легко вытесняются из своих соединений другими кислотами, в том числе и широко распространенной в природных водах угольной кислотой. Поэтому, попадая в поверхностные условия и взаимодействуя с водами, бораты оказываются неустойчивыми. Они гидролизуются с выделением свободной ортоборной кислоты или других, полиборных кислот и соответствующих оснований.

Процессы разложения боратов в поверхностных условиях

4. Карбонатизация ашарита (по А.Ф. Горбову)



2. Преобразование кальциевых боратов (по А.В. Николаеву)

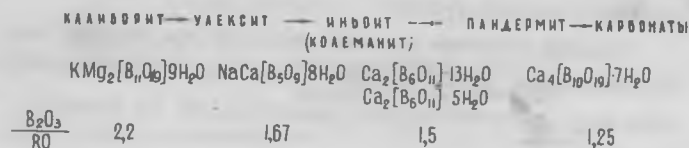


В результате указанных реакций образуются или карбонаты кальция, или бораты с меньшим значением отношения  $\frac{\text{B}_2\text{O}_3}{\text{RO}}$ , а бор выносятся подземными водами.

Интенсивность процесса гидролиза зависит от энергетического уровня отдельных боратов. Бораты, являющиеся производными от более сложных полиборных кислот, обладают более высокими энергетическими уровнями, так как они обязаны своим происхождением эндотермическому процессу полимеризации борных кислот. Гидролиз этих боратов приводит к ступенчатому преобразованию более сложных боратов в менее сложные. Этот процесс, сопровождающийся выделением ортоборной кислоты, носит стадийный характер, причем образующиеся менее сложные бораты занима-

ют энергетические уровни все большей и большей в данных условиях устойчивости.

Ниже приводится схема перехода одних боратов в другие на одном из месторождений (по данным А.В. Николаева и Я.Я. Яржемского).



Как следует из этой схемы, по мере перехода одних боратов в другие во вновь образующихся боратах происходит уменьшение значения отношения  $\frac{\text{B}_2\text{O}_3}{\text{RO}}$ . В пределе каждая боратовая залежь превращается в карбонатную, а ортоборная кислота выносится грунтовыми водами. Благодаря высокой миграционной способности бора при непрерывно протекающем процессе гидролиза вокруг месторождений боратов образуются отчетливые ореолы его повышенных содержаний в подземных и поверхностных водах. Хорошей иллюстрацией этого являются многие боратные месторождения рассматриваемого региона.

Рассмотрим один из районов боратных месторождений.

Боратные скопления месторождений этого района приурочены к гипсовым шлям солончальных куполов. В районе наиболее развиты три генетических типа подземных вод:

- а) трещинно-карстовые воды основных водоносных горизонтов гипсовых шлям солончальных куполов;
- б) пластовые воды мезозойских отложений, прорываемых соляными куполами;
- в) грунтовые воды неогеновых и антропогенных отложений вокруг куполов.

Проведенные в пределах района гидрохимические исследования показали, что бороносные солянокупольные поднятия отчетливо отражаются повышенной бороносностью трещинно-карстовых вод, развитых в пределах куполов.

Основным поисковым признаком скоплений бора является бор, второстепенными - калий и фтор. Содержания бора в водах бороносных куполов могут достигать 500 мг/л при содержаниях вне купола до 20 мг/л.

В пределах солянокупольного поднятия по степени аномальности выделяются три типа вод: рудные, ореольные и фоновые воды.

Рудные воды располагаются или в пределах месторождений, или в непосредственной близости от них. Содержания бора в этих водах, как правило, больше 100 мг/л.

Ореольные воды распространяются за пределы месторождений и образуют отчетливые водные ореолы рассеяния. Содержания бора в этих водах от 100 до 10 мг/л. Протяженность ореолов достигает 3,5 км.

Фоновые воды формируются вне связи с залежами боратов.

Степень контрастности аномалий на участках месторождений достигает 25-40, в ореольных водах снижается до 14-2. Протяженность ореолов и степень их контрастности определяются масштабом боратовых залежей и гидрогеологическими условиями. Наиболее крупные месторождения боратов характеризуются наличием водных ореолов рассеяния, самых значительных как по размерам, так и по контрастности. Характерно, что в пределах отдельных солянокупольных поднятий в фоновых и ореольных водах с ростом общей минерализации увеличивается содержание бора (см. табл. 2).

Т а б л и ц а 2

Зависимость содержания бора от общей минерализации (на примере некоторых ардских районов)

Общая минерализация, г/л	Содержания бора, мг/л (нижний предел аномальных содержаний)
1,8 - 5	1 - 5
5 - 10	5 - 8
10 - 50	8 - 13
50 - 100	13 - 18
100 - 200	18 - 24
200 - 300	24 - 28
300 - 350	28 - 30

Повышенные содержания бора в водах характерны для всего бороносного солянокупольного поднятия, а на участках отдельных боратовых месторождений внутри поднятия наблюдается наиболее резкое увеличение бороносности вод. Это позволяет проводить гидрохимические поиски боратовых месторождений внутри отдельных соляных куполов.

Боросиликаты. Среди боросиликатов наиболее распространены следующие минералы: датолит, данбурит, аксинит, турмалин. Процессы разрушения этих минералов и тем более формирование вокруг их месторождений ореолов рассеяния бора в подземных водах еще не изучены. Работы, проведенные нами на некоторых боросиликатных месторождениях, в том числе на месторождениях горных районов показали, что вокруг месторождений такого типа существует четко выраженные ореолы рассеяния бора в



подземных водах.

Водные ореолы рассеяния вокруг датолитовых рудных тел образуются в результате разрушения кристаллической решетки датолита под действием воды и углекислого газа. При этом образуются  $\text{CaCO}_3$  и  $\text{SiO}_2$ , а бор выносится водными растворами.

Формирование водных ореолов рассеяния вокруг месторождений боросиликатов зависит от их минералогического состава. Отчетливые водные ореолы рассеяния образуются только вокруг датолит-данбуритовых месторождений. В районах развития аксинита и турмалина водные ореолы рассеяния бора не наблюдались.

Наиболее ярко выраженные ореолы рассеяния вокруг датолит-данбуритовых месторождений наблюдаются в случае ассоциации боросиликатов с сульфидами. В этом случае степень выщелачивания бора из боросиликатов заметно увеличивается вследствие образования кислых растворов.

Ниже описываются конкретные условия, при которых образовались водные ореолы рассеяния вокруг одного из датолит-данбуритовых месторождений.

Месторождение приурочено к скарновой зоне. В минералогическом составе руд преобладают данбурит и датолит. Рельеф высокогорный; в районе преобладает поверхностный сток, пополняемый за счет таяния ледников и снежников. Широко развиты дельтавидные и альпийские воды. В фоновых водах бор не отмечен (чувствительность определения 0,01 мг/л). В пределах месторождения содержания бора увеличиваются до десятых долей миллиграмма на литр.

Максимальные содержания бора имеют дельтавидные воды. Водопроявления с аномальными содержаниями бора образуют отчетливый ореол вокруг месторождения, протягивающийся на 5 - 6 км

вниз по течению ручья, который дренирует участок месторождения. Ореол делится на две части: внутреннюю, соответствующую рудным телам месторождения, и внешнюю, соответствующую механическому ореолу рассеяния месторождения. Так как район высокогорный, процессы эрозии интенсивны. Поэтому размеры внешней части ореола значительны. Косвенными геохимическими признаками месторождения являются мышьяк, цинк и медь.

Проявление гидрохимических аномалий зависит от времени опробования подземных и поверхностных вод. Наиболее четкие аномалии устанавливаются в период минимальных дебитов как в течение суток, так и в течение сезона.

Подводя итоги, отметим, что основным гидрохимическим поисковым признаком борных месторождений, как боратовых, так и боросиликатных, является повышенное против фонового содержания бора в подземных водах. В качестве косвенных и второстепенных поисковых признаков могут быть использованы для гипергенных боратов <sup>и боратов</sup> калий, для боросиликатов рудные элементы, характерные для данного типа скарнов ( $\text{As}$ ,  $\text{Cu}$ ,  $\text{Zn}$ ,  $\text{Sb}$  и др.).

Необходимо отметить, что вследствие хорошей миграционной способности в подземных водах бор может давать обилие ложных аномалий в подземных водах. Поэтому интерпретация данных гидрохимических поисков бывает затруднена. Для получения более четких результатов при интерпретации результатов гидрохимических поисков месторождений бора (как боратов, так и боросиликатов) должны учитываться следующие факторы:

1. Горизонтальная гидрогеохимическая зональность грунтовых вод.
2. Способность бора в зависимости от увеличения общей минерализации накапливаться в подземных водах до значительных содержаниями.

3. Минералогический состав ожидаемых рудопроявлений.

4. Характеристика почвенного покрова.

5. Время суток и года.

1. Горизонтальная гидрохимическая зональность грунтовых вод.

Г.Н.Каменский выделяет два генетических типа грунтовых вод: грунтовые воды выщелачивания и грунтовые воды континентального засоления. Фоновые содержания бора для этих типов грунтовых вод различны. (см.табл.3).

Т а б л и ц а 3

Фоновые содержания бора в грунтовых водах различных типов

Минерализация, мг/л	Химический тип вод	Содержание бора, мг/л
<u>Грунтовые воды выщелачивания (горные районы)</u>		
До 100	HCO <sub>3</sub> - Ca	Нет
100 - 200	то же	0 - 0,01
200 - 300	" "	0 - 0,02
300 - 500	" "	Следы - 0,1
500 - 1000	" "	Следы - 0,8
<u>Грунтовые воды континентального засоления</u>		
До 3 000	SO <sub>4</sub> - Na	До 1
До 10 000	Cl - Na	До 8
До 20 000	то же	До 10
40 000 - 60 000	" "	До 15
До 350 000	" "	До 30

Как видно из табл.3, для грунтовых вод континентального засоления по сравнению с грунтовыми водами выщелачивания фоно-

вые содержания бора резко увеличены.

2. В зависимости от увеличения общей минерализации бор способен накапливаться в подземных водах до значительных содержаний. Вследствие этого во многих случаях содержания бора вне месторождений превышают его содержания в подземных водах на месторождении. Зависимость содержаний бора от общей минерализации приводится в табл.2.

В случае колебаний общей минерализации подземных вод для выяснения степени обогащенности подземных вод бором следует применять коэффициенты, показывающие отношение содержания бора к общей минерализации или к содержанию хлора ( $\frac{B}{M}$  и  $\frac{B}{Cl}$ ).

3. Минералогический состав ожидаемых рудопроявлений зависит от минералогических и геохимических особенностей данной провинции. Как уже говорилось, содержания бора в грунтовых водах месторождений различных минералогических типов резко различаются. Если при взаимодействии с боратами содержание бора в грунтовых водах может увеличиваться до десятков и даже сотен миллиграммов на литр, то выщелачивание боросмекатов при прочих равных условиях сопровождается лишь незначительным увеличением бора в грунтовых водах (обычно десятые доли миллиграмма на литр).

4. Как показывают теоретические и полевые исследования (Б.Б. Полюнов, Д.И.Перельман) роль почвенного покрова в миграции элементов в зоне гипергенеза очень велика. В отдельных районах почвенный покров способствует усилению процесса выщелачивания бора, а следовательно, скорейшему переходу его из твердой фазы в жидкую. Это обусловлено, с одной стороны, усилением агрессивной способности инфильтрующихся вод вследствие обогащения их органическими кислотами почв, а с другой - обогащением вод, инфильтрующихся-

ся через почвы, углекислотой. Как известно, содержание  $\text{CO}_2$  в почвенном воздухе может достигать 10% и более. Вследствие этого подземные воды, инфильтрующиеся через почвы, становятся более активными по отношению к борным минералам, особенно к боратам, так как в данном случае усиливается интенсивность процесса гидролиза.

Роль почв не ограничивается только усилением выщелачивающей способности подземных вод. Как показывают результаты геохимических исследований, содержание бора в почвах на месторождениях боратов и боросиликатов увеличивается и достигает нескольких процентов при фоновом содержании, равном тысячным и сотым долям процента. По А.П.Виноградову, воднорастворимый бор почв может достигать 10%, а иногда и более. Почвы способствуют переводу бора из труднорастворимой силикатной формы в более легко растворимые органические формы.

Как показали опыты по выщелачиванию почв одного из месторождений боросиликатов, содержание бора в фильтрате может достигать значений, не уступающих содержаниям, полученным при выщелачивании датолита. Поэтому почвы борного месторождения, как и минералы бора, являются поставщиками бора в инфильтрующиеся подземные воды. В то же время надо отметить, что в случае отсутствия почв, что часто наблюдается в высокогорных районах, ореолы вокруг месторождений могут не уступать по своим масштабам ореолам месторождений, покрытых почвенным покровом.

5. Время, когда проводятся гидрохимические поиски, особенно важно учитывать при работах в среднегорных и высокогорных районах, где в питании подземных и поверхностных вод принимает участие ледниковые воды. Здесь выделяются два типа колебаний содержания бора в природных водах - дневные и сезонные.

Максимальные содержания бора наблюдаются в потоке в период его минимального расхода. В период максимального расхода содержания бора резко снижаются. Таким образом во время максимальных расходов потоков ореол по бору в них может и не ощущаться. Аналогичная картина наблюдается и по сезонам. Таким образом, в среднегорных и высокогорных районах наиболее благоприятным временем для проведения гидрохимических поисков являются периоды минимальных расходов поверхностных потоков.

Гидрохимический метод при поисках полезных ископаемых является в большинстве случаев вспомогательным. Основная его роль заключается в ориентировке поисковых усилий на перспективные районы, в проверке предположений о перспективности того или иного участка, а также в изъятии из площадей, намечаемых для поисков, неперспективных территорий. Поэтому в зависимости от природных условий, а также от задач, стоящих перед исследованиями, гидрохимический метод поисков борных месторождений может применяться при работах самой различной детальности, начиная от масштаба 1:1000 000, когда производится оценка перспективности отдельных территорий и до масштаба 1:10 000 и даже крупнее, когда производится поиски и оконтуривание отдельных рудных тел, устанавливаются места заложения горных выработок и т.д.

С помощью гидрохимического метода могут решаться следующие вопросы:

1. Выяснение перспектив отдельных крупных территорий на скопления бора различных генетических и минералогических типов и выделение районов для дальнейших поисковых исследований. Масштабы работ 1:1 000 000 - 1:200 000.

2. Выяснение перспектив отдельных районов и выделение участ-

ков для детальных исследований и разведки. Масштабы работ 1:200 000 - 1:25 000.

3. Поиски и оконтуривание отдельных рудных тел в пределах известных месторождений. Масштабы работ 1:25 000 и крупнее.

4. Направление поисковых и разведочных горных работ в пределах известных рудных полей. Масштабы 1:10 000 и крупнее.

В заключение нужно сказать, что гидрохимические методы поиска месторождений бора нужно применять в комплексе с другими геохимическими методами - литохимическим, биогеохимическим, геоботаническим. Порядок очередности проведения указанных методов зависит от общих ландшафтно-геохимических, геологических и гидрогеологических условий.

В последнее время установлено, что гидрохимический метод может быть применен для поисков других нерудных полезных ископаемых: лития, бериллия, фтора, ниобия и др. Выяснено, что вокруг месторождений этих элементов существуют отчетливые водные ореолы рассеяния различной протяженности и контрастности. Так как методических работ в этом направлении не проводилось, вопрос о применимости гидрохимического метода для поисков этих элементов решен только принципиально.

В.А.Поляков и И.Н.Воробьева

#### О ВЛИЯНИИ НЕКОТОРЫХ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА СОРБЦИЮ МИКРОКОЛИЧЕСТВ МЕДИ И ЦИНКА ОСАДКОМ ГИДРАТА ОКИСИ ЖЕЛЕЗА

В процессе окисления сульфидных рудных тел омывающие их воды обогащаются компонентами рудных минералов и ионом  $SO_4$ . За счет образования свободной серной кислоты рН водич сдвигается в кислую область (рН = 2 ÷ 3). Кислые (рудные) воды в результате разубоживания и нейтрализации активными породами теряют часть компонентов своей минерализации за счет гидролиза сульфатов. В первую очередь выпадает в осадок гидрат окиси трехвалентного железа  $Fe(OH)_3$ , рН гидролиза которой 2,5-3,0.

Аморфный осадок гидрата окиси железа имеет в момент выпадения развитую поверхность и поэтому является прекрасным сорбентом. Какое бы то ни было, этот осадок должен в процессе выпадения захватывать все микрокомпоненты минерализации и в частности медь и цинк, концентрации которых в рудных водах в сотни и тысячи раз меньше концентраций ионов железа. Однако исследование водных ореолов рассеяния меди и цинка показало, что водные ореолы прослеживаются несравненно дальше зоны выпадения вторичных минералов железа. А.А.Бродский высказал предположение, что значительные количества сульфат-иона препятствуют сорбции меди и цинка гидратом окиси железа.

Для изучения зависимости сорбции микроколичеств меди и цинка от рН среды и содержания сульфат-иона нами были проведены лабораторные исследования. Чтобы приблизить эксперимент к природным условиям, были взяты такие концентрации меди, цинка и железа в растворе, которые примерно соответствуют концентрации этих элементов в рудных водах интенсивно окисляющихся сульфидных рудных тел. Концентрации ме-

ди и цинка в растворе изменялись от 100 до 200 мкг/л, содержание сульфат-иона от 1 до 800 мг/л. Опыты проводились на растворах с рН = 4 - 8.

При изучении сорбции микроколичеств цинка использовался метод радиоактивных индикаторов с применением радиоактивного изотопа цинка  $Zn^{65}$  ( $T=236$  дней). Для изучения сорбции микроколичеств меди этот метод нельзя использовать ввиду малого периода полураспада радиоактивного изотопа меди ( $T=12,9$  часа), поэтому определение меди проводилось калориметрированием дитизионовых и диэтилдитиокарбонатных соединений меди. Осаждение гидрата окиси железа проводилось путем подщелачивания исходного кислого раствора с рН = 2 до заданного рН, который фиксировался, так рН осаждения. Осадок отделялся от раствора через 18 - 20 час. стояния центрифугированием. Процент сорбции вычислялся по изменению содержания меди и цинка в растворе после выпадения гидроокиси железа. Адсорбцией меди и цинка стеклом посуды, как показала проверка, в условиях наших экспериментов, можно пренебречь.

Данные по сорбции микроколичеств меди и цинка гидратом окиси железа сведены в табл. I и 2.

Т а б л и ц а I

Сорбция меди выпадающим гидратом окиси железа при различных вариациях ионных компонентов  
Концентрация  $Ca$  200 мкг/л

№ опыта	Концентрация железа, мг/л	Концентрация сульфат-иона, мг/л	Сорбировано <sup>медь</sup> <del>сульфат-иона</del> , %			
			рН=5	рН=6	рН=7	рН=8
1	250	0	50	89	100	100
2	250	1	55	91	100	100
3	250	10	50	89	100	100
4	250	100	63	91	100	100

Т а б л и ц а 2

Сорбция цинка выпадающим гидратом окиси железа при различных вариациях ионных компонентов

№ опыта	Концентрация мкг/л	Концентрация железа, мг/л	Концентрация $SO_4$ , мг/л	Сорбировано <sup>цинк</sup> <del>сульфат-иона</del> , %				
				рН=4	рН=5	рН=6	рН=7	рН=8
1	100	250	0	-	15	85	100	100
2	100	250	1	-	14	90	100	100
3	100	250	10	5	18	80	100	100
4	100	250	100	3	16	68	100	100
5	100	250	800	5	20	70	100	100
6	100	500	0	-	23	91	100	100
7	100	500	100	6	26	90	100	100
8	200	250	0	-	11	62	98	100
9	200	250	100	4	12	68	100	100
10	200	500	0	-	22	70	100	100
11	200	500	100	6	22	76	100	100

Как видно из табл. I и 2, сорбция меди и цинка гидратом окиси железа чрезвычайно чувствительна к рН среды. Она незначительна в кислой области и резко возрастает вблизи нейтральной точки. По литературным данным (1, 3, 4), сорбция катионов осадком гидрата окиси железа по-видимому связана с зарядом частиц гидратом окиси железа. Осадок  $Fe(OH)_3$  является амфотерным, т.е. способен менять заряд поверхности в зависимости от рН среды (2). В кислой области поверхность этого осадка заряжена положительно, а в щелочной отрицательно. Изoeлектрическая точка (точка перезарядки) лежит в области рН=7. Учитывая изменение сорбционной способности и изменение заряда частиц гидра-

та окиси железа, можно сделать вывод, что сорбция микроколичеств меди и цинка из раствора осадком  $Fe(OH)_3$  происходит за счет вторичной обменной адсорбции. Зависимость адсорбированных количеств меди и цинка от pH среды в общем виде может быть выражена уравнением

$$q = \frac{\epsilon}{\epsilon_0} \cdot A_0(pH) C^{1/n}$$

- где  $q$  - количество адсорбированной меди или цинка;  
 $\epsilon, \epsilon_0$  - сорбционные емкости при различных pH; отношение  $\frac{\epsilon}{\epsilon_0}$  показывает изменение величины поверхности  $Fe(OH)_3$  в зависимости от величины pH;  
 $A_0(pH)$  - изменение заряда поверхности  $Fe(OH)_3$  в зависимости от величины pH;  
 $C$  - концентрация меди или цинка в растворе;  
 $1/n$  - константа, зависящая от заряда адсорбируемого иона.

Количественная разница в адсорбции меди и цинка (увеличение адсорбции меди по сравнению с адсорбцией цинка при одних и тех же pH) хорошо согласуется с правилом Панета-Фаянса.

Четкая зависимость адсорбции меди и цинка осадком  $Fe(OH)_3$  от содержания сульфат-иона в растворе отсутствует. Количественные данные экспериментов по адсорбции меди и цинка при вариации содержания сульфат-иона в растворе совпадают в пределах погрешности эксперимента. Это свидетельствует о том, что в растворе не происходит комплексообразования микрокомпонентов с сульфат-ионом.

Содержание в растворе сульфат-иона свыше 10 мг/л вызывает быструю коагуляцию свежеосажденной гидроокиси железа.

В условиях окисляющихся сульфидных рудных тел, когда вода в значительной степени обогащена ионом  $SO_4^{2-}$ , гидрат окиси железа не образует устойчивых коллоидных растворов, легко коагулирует при pH = 2,5-3,0 и при фильтрации через пористые породы почти количественно отделяется от микроколичеств меди и цинка.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Березнева Н.Е., Озиранер С.М., Резанова В.И. Адсорбция катионов осадком оксиацетата железа. "Журнал физической химии", 1960, 24, стр.18-66.
2. Приклонский В.А. Грунтоведение. Госгеолтехиздат, 1955.
3. Пушкарев В.В. Сорбция радиоактивных изотопов гидроокисью железа. "Журнал неорганической химии", 1956, 1, № 1, стр. 170-178.
4. Старик И.Е., Старик Ф.Е., Аполонova А.Н. Адсорбция микроколичеств урана гидроокисью железа и десорбция его карбонатным методом. "Журнал неорганической химии", 1958, 3, № 1, стр.121-128.