

РОЛЬ ГЕОХИМИЧЕСКИХ БАРЬЕРОВ В ФОРМИРОВАНИИ ВОДНЫХ ПОТОКОВ РАССЕЯНИЯ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ (НА ПРИМЕРЕ КОЛЫВАНЬ-ТОМСКОЙ ЗОНЫ)

П. А. УДОДОВ, Б. М. ЛЕВАШОВ

Для участков резкой смены геохимической обстановки, обусловленной различными причинами и вызывающей изменение условий миграции и концентрацию элементов, А. И. Перельман (1965) предложил название «геохимические барьеры». В зависимости от специфики и среды проявления они подразделяются на три основные группы: механические, физико-химические и биогеохимические.

Концентрация рудных компонентов, обусловленная действием геохимических барьеров, протекала на протяжении всей истории геологического развития Колывань-Томской зоны. Следы существования древних физико-химических барьеров на ее территории многочисленны и разнообразны. Помимо минералообразования в зонах окисления сульфидных рудопоявлений к наиболее ярким из них относятся широко развитые инфильтрационные бурые железняки и марганцевые образования в профиле коры выветривания, прослой и стяжения фосфоритов в пачинской свите, прослой сидерита в верхах болотинской свиты, участки обогащения терригенных палеозойских пород основного прогиба свинцом, цинком, медью и другими металлами, железистые и марганцевые бобовины в мезозойско-кайнозойских отложениях и т. д.

Как древние, так и современные геохимические барьеры имеют большое значение для гидрогеохимического метода поисков рудных месторождений. Первые отражают деятельность подземных вод в прошлом. Анализ эпигенетических образований в породах и прослеживание путей поступления растворов в зону действия таких барьеров помогает восстановить гидрогеологические условия существования древних водных потоков рассеяния тяжелых металлов и их источники. Изучение вторых позволяет полнее раскрыть картину формирования микрокомпонентного состава вод и более правильно подходить к интерпретации данных гидрогеохимических исследований.

На территории Колывань-Томской зоны наиболее часто встречаемыми и важными в поисковом отношении геохимическими барьерами являются барьеры, с которыми связано выпадение из вод источников травертинов и гидроокислов железа (дегазационно-карбонатный и железный барьеры, по А. И. Перельману).

Травертины в регионе развиты весьма широко. Эти образования имеют форму чаш, конусов, покровов и неправильных скоплений у выходов подземных вод. Наиболее часто они встречаются в окрестностях г. Томска (д. Петухово), около ст. Тутальская, в бассейнах рр. Тугоя-

ковка, Пача, Иня, Сузун и на многих других участках. Значение их для гидрогеохимических поисков обусловлено тем, что вместе с ними выпадают и микрокомпоненты, содержащиеся в водах.

Для выявления комплекса микрокомпонентов, выпадающих совместно с травертинами из вод, были проведены солянокислые вытяжки 67 образцов травертинов. Подсчитанные средние содержания элементов показали, что в одном грамме травертина содержится (в микрограммах) марганца — 447, бария — 85, титана — 10, цинка — 4, ванадия — 5, никеля — 2, меди — 1, свинца — 0,5, серебра — 0,1. В водах источников, отлагающих травертины, соответственно средние содержания элементов (в *мкг/л*) — 8,1; 0,5; 0,4; 0,2; 0,1; 0,01; 0,25; 0,1; 0,1.

Наиболее склонны к осаждению травертинами мышьяк, кобальт, сурьма, стронций и, видимо, висмут, олово, кадмий. Эти элементы при незначительном содержании или отсутствии в водах обнаружены в травертинах в количествах 100 и более *мкг/л*. Марганец и барий отмечаются как в травертинах, так и в водах источников. Такие элементы, как медь, хром, цинк, ванадий, свинец, никель, серебро и титан в проанализированных точках отмечаются либо в водах, либо в травертинах. При наличии в травертинах они всегда отмечаются в водах. Максимальные значения меди в воде до 10 *мкг/л*, в травертинах — до 500 *мкг/л*, соответственно для хрома 10 и 30, для цинка — 30 и 200, для ванадия — 10 и 300, для свинца — 5 и 20, для никеля — 7 и 30, для серебра — 2 и 4, для титана — 100 и 1500. Различное поведение этих элементов при выпадении травертин в большей степени, видимо, определяется разнообразием форм их миграции в водах.

Другой формой проявления дегазационно-карбонатного барьера является отложение карбонатов тяжелых металлов в приповерхностной части зон окисления, связанное с резким обеднением вод углекислотой в местах их выхода на дневную поверхность. Образовавшиеся в таких условиях церуссит, гидроцинкит, азурит, малахит, а также вторичные кальцит и сидерит обнаружены в верхних частях зоны окисления Барановского, Огневозаимского и других рудопроявлений. Основной характер солей (гидроцинкит, азурит, малахит) показывает, что осаждение происходило в щелочной среде.

Широко распространенным на описываемой территории геохимическим барьером является отложение гидроокислов железа при изменении условий его миграции.

Работы В. И. Вернадского (1960), Н. М. Страхова (1962), А. И. Перельмана (1965) и др. показывают, что миграция железа в водных растворах может происходить в ионной форме, в виде коллоидов и различных комплексных соединений. Разнообразие форм его миграции определяет значение железа в геохимии некоторых тяжелых металлов. Выпадающие из водных растворов соединения железа для многих микрокомпонентов играют роль геохимического барьера.

Как ранее отмечено, в пределах Колывань-Томской зоны железо связано с различными типами подземных вод. Оно встречается, как в двух-, так и в трехвалентной форме. Общее содержание железа в водах отдельных источников достигает иногда 16 *мг/л*. В условиях разгрузки обогащенных железом подземных вод происходит его выпадение в виде гидроокислов, которые сорбируют большой комплекс микрокомпонентов. В 35 образцах гидроокислов железа, отобранных по источникам подземных вод в различных частях региона, спектральным анализом обнаружены (в %): марганец (0,06—1,0), титан (0,001—0,06), барий (0,001—0,03), фосфор (0,06—0,6), хром (0,001—0,06), мышьяк (0,006—0,03), никель (следы), медь (следы — 0,001), свинец (следы), цинк

(0,003—0,006), стронций (0,006—0,01), кобальт (0,001). При этом такие элементы, как марганец, титан, барий и фосфор встречаются в большинстве образцов. Все остальные присутствуют в гидроокислах железа, отобранных в пределах развития водных потоков рассеяния зон минерализации.

Локальное значение в условиях Колывань-Томской зоны имеет сероводородный барьер. Единичные источники с наличием сероводорода встречаются лишь в северной части региона (р. Яя, правобережье р. Томи ниже устья р. Басандайки). В последнем пункте в водах источника с наличием сероводорода в отличие от соседних бессероводородных источников появляется двухвалентное железо, углекислота (до 67 мг/л), стронций и особенно барий и марганец, но исчезают свинец, цинк, ртуть и серебро, встречающиеся в других источниках данного участка. Характерным для ряда источников с сероводородом является выпадение у выходов самородной серы и квасцов.

Общеизвестной является роль известняков как геохимического барьера, вызывающего повышение рН вод, в частном случае смену кислых вод нейтральными или щелочными. Это вызывает выпадение большинства металлов из растворов и концентрацию их на участке действия барьера. К следам существования данного барьера в прошлом относятся бурые железняки, обнаруженные нами близ Власковского известнякового карьера. Они образовались в результате метасоматического замещения известняка и контактирующих с ним пород гидроокислами железа и содержат включения самородной меди. Спектральным анализом в бурых железняках обнаружены свинец (следы), цинк (0,2%), серебро (0,001%), кадмий (0,001%), ртуть (0,001%), барий (0,07%) и другие элементы. Аналогичного происхождения бурые железняки в карьере у с. Верхний Коен содержат свинец (следы), цинк (0,5%) мышьяк (0,2%), молибден (0,001%), барий (0,05%), а также кобальт, никель, бериллий, марганец, титан. Обычным для отмеченных бурых железняков является развитие их вблизи участков с водными потоками рассеяния зон полиметаллической минерализации.

Влияние известняков в настоящее время проявляется в резком снижении контрастности и содержания металлов в водных потоках рассеяния зон минерализации. Так, например, для Барановского полиметаллического рудопроявления, где проведена гидрогеохимическая съемка 1 : 25000 масштаба, четко устанавливаются границы распространения водного потока рассеяния, обусловленные наличием небольшого прослоя известняков в толще песчаников на восточной окраине д. Бараново.

Приведенный материал показывает, что современные геохимические барьеры, в зоне действия которых из вод осаждается большой комплекс элементов, относятся к явлениям, которые необходимо учитывать при гидрогеохимических исследованиях. Поэтому при их проведении необходим, наряду с изучением микрокомпонентного состава вод, обязательный анализ всех новообразований (травертина, гидроокислов железа и марганца и других соединений), наблюдаемых у выходов источников. С другой стороны, большую помощь при оценке исследуемых участков может оказать изучение эпигенетических образований действующих в прошлом источников, изменивших свое положение в пространстве или исчезнувших полностью. Характерным примером таких образований являются обнаруженные на возвышенности правого берега р. Грязнушки у впадения ее в р. Окино травертины. Они залегают здесь в виде сплошного покрова на площади около 1 км². Канавно-расчистные работы показали, что мощность отложений травертина в центральной части превышает 3 м. В разрезе их выделяются горизонты,

интенсивно пропитанные гидроокислами железа и марганца, в которых карбонатный материал имеет подчиненное значение. Эти горизонты являются наиболее обогащенными микрокомпонентами и содержат (в *мкг/л*) свинца — 10, меди — 72, цинка — 110, кобальта — 88, никеля — 60, серебра — 1, бария — 560, мышьяка — 10. Кроме того, присутствуют ртуть (0,1 *мкг/л*) и кадмий в следах. Содержания элементов в водах источников на данном участке превышают фоновые не более чем в 2—3 раза, а такие элементы, как цинк, серебро, кадмий, ртуть в водах не обнаружены. Все это в комплексе с другими поисковыми признаками (наличие обломков бурых железняков, пиритизации пород, гипергенное осветление пород и другие) позволило рассматривать участок как перспективный. К числу примеров этого же порядка можно отнести уже описанные бурые железняки, развивающиеся по известнякам, а также обогащенные гидроокислами железа и марганца туфопесчаники на возвышенности в 1 км к северо-западу от с. Лушниково и омарганцеванные обломки кварцевых жил и песчаников на склоне правого борта р. Елбаш напротив с. Елбаша. Гидроокислы марганца последнего участка содержат цинка, никеля и кобальта больше 1%.

Из сказанного следует, что роль геохимических барьеров в изменении химического состава водных потоков рассеяния зон минерализации и концентрации рудных элементов очень велика. Достаточно отметить, что в обстановке длительно действующих на ограниченном участке геохимических барьеров в прошлом концентрации рудного вещества могут достигать промышленных значений. Так, И. Чадек и др. (1971) считают, что наиболее крупные урановые месторождения мира (в США, ФРГ, Японии) образовались за счет осаждения урана из циркулирующих метеорных вод при благоприятных окислительно-восстановительных условиях. С деятельностью геохимических барьеров связывают образование так называемых стратиформных месторождений свинца, цинка, меди (Константинов, 1963 и др.). Напротив, неустойчивые в пространстве и времени геохимические барьеры приводят к формированию рассеянной рудной минерализации в осадочных толщах, коре выветривания, почвах, аллювиальных отложениях как в прошедшие эпохи, так и в настоящее время. Эта минерализация, являясь в отдельных случаях источником тяжелых металлов в водах, не служит предметом промышленной эксплуатации. Поэтому связанные с ней водные потоки рассеяния в гидрогеохимии принято условно называть «безрудными», в отличие от «рудных», источником которых являются месторождения.

Таким образом, по степени и особенностям влияния на формирование водных потоков рассеяния тяжелых металлов среди геохимических барьеров можно наметить в первом приближении три основные группы:

1. Современные геохимические барьеры, влияющие на состав и содержание микрокомпонентов в водных потоках рассеяния. Характерным результатом их деятельности являются эпигенетические новообразования у выходов источников подземных вод. Анализ этих новообразований служит дополнительным критерием для оценки исследуемого участка при гидрогеохимических поисках.

2. Длительно действующие на ограниченном участке геохимические барьеры прошлых эпох, приводящие к образованию эпигенетических рудных месторождений, являющиеся источником «рудных» водных потоков рассеяния тяжелых металлов.

3. Неустойчивые в пространстве и времени геохимические барьеры прошлых эпох и настоящего времени. Образовавшаяся в результате их деятельности рассеянная минерализация служит источником «безрудных» водных потоков рассеяния.

Оценка деятельности геохимических барьеров необходима для правильной расшифровки гидрогеохимических данных. Накопление элементов в области действия барьеров может указывать, с учетом направления движения вод в современных и былых водоносных горизонтах, на их первичный источник. Это особенно важно при разделении водных потоков рассеяния на «рудные» и «безрудные». В таблице приведено де-

Основные типы гидрогеохимических аномалий

Типы* аномалий	Процессы, ведущие к образованию источников аномалий	Геологические и технические типы источников аномалий
Рудные	Магматические, метаморфические и седиментационные	Магматогенные, метаморфогенные и осадочные месторождения и проявления. Первичные ореолы рассеяния и гидротермально измененные породы. Минерализованные зоны тектонических нарушений
	Эпигенетические (в зоне гипергенеза) с преобладанием рудообразующих факторов	Зоны окисления сульфидных месторождений. Вторичные ореолы рассеяния. Крупные скопления металлов, возникшие на месте существования длительно действующих в прошлом геохимических (биогеохимических, физико-химических) барьеров (экзогенные эпигенетические месторождения свинца, цинка, меди, урана и др. металлов) и механических барьеров (россыпные месторождения). Экзогенные эпигенетические месторождения, образование которых продолжается и в настоящее время (в данном случае могут формироваться аномалии с нижефоновыми содержаниями элементов в водах)
Безрудные	Эпигенетические (в зоне гипергенеза) число рудообразующих факторов ограничено	Мелкие концентрации рудного материала, возникшие на месте кратковременно действующих геохимических и механических барьеров прошлых эпох и аналогичных современных барьеров. Рассеянная минерализация различного состава в осадочных толщах, образовавшаяся за счет длительно действующих геохимических и механических барьеров с неустойчивым положением в пространстве и времени
	Технические	Газообразные и водные отходы промышленных предприятий. Сточные воды. Отвалы и шахтные воды горнодобывающих предприятий. Местные концентрации элементов в почвах и растениях, накопившиеся в результате применения удобрения в сельском хозяйстве и т. д.

ление этих основных групп гидрогеохимических аномалий в зависимости от результатов деятельности геохимических барьеров и других источников обогащения вод тяжелыми металлами.

ЛИТЕРАТУРА

- В. И. Вернадский. Избранные труды, т. 1. Изд-во АН СССР, 1954.
 М. М. Константинов. Происхождение стратифицированных месторождений свинца и цинка. Изд-во АН СССР, 1963.
 Н. М. Страхов. Этапы развития внешних геосфер и осадочного породообразования. Изв. АН СССР, сер. геол., № 12, 1962.
 А. И. Перельман. Геохимия эпигенетических процессов. М., «Недра», 1965.
 И. Чадек, М. Майковский, З. Шульцек. Геохимическое значение подземных вод для аккумуляции рудных компонентов. Геология и геохимия рудных месторождений. Тр. XXIII междунар. геол. конгресса. М., «Мир», 1971.

* Гидрогеохимическая оценка аномалий и отнесение их к рудным или безрудным должна проводиться с учетом результатов геологических, геохимических, палеогидрогеологических, палеогеографических и геофизических исследований.