

ПОДЗЕМНЫЕ ВОДЫ КАК ПОКАЗАТЕЛЬ экологической ситуации ГОРНОРУДНЫХ РАЙОНОВ ЮЖНОГО УРАЛА

Южный Урал – классическая провинция распространения девонских колчеданных месторождений. В вулканогенно-осадочных породах восточной горнорудной провинции Южного Урала (Магнитогорская мегазона) содержатся трещинные и трещинно-жильные подземные воды. В зонах окисления медноколчеданных месторождений Магнитогорского бассейна формируются кислые сульфатные полиметалльные воды, которые являются серьезным источником загрязнения геологической среды.

Введение

Южный Урал является старейшим рудодобывающим регионом страны. Здесь в составе колчеданного рудного пояса Восточно-Уральской провинции Южного Урала выделяются медноколчеданные месторождения Уральского типа (рис. 1). Такие месторождения как Учалинское, Баймакское, Сибайское, Подольское и др. стали эталонами медноколчеданных месторождений в составе Магнитогорской мегазоны. Подземные воды являются важным и самым уязвимым компонентом геологической среды. Особенности их распространения, миграции и формирования химического состава во многом определены предыдущим геохимическим развитием водовмещающего литосубстрата. В рамках настоящей работы рассматриваются подземные воды, относящиеся к Магнитогорскому бассейну трещинно-жильных вод. Для этого бассейна характерно широкое развитие эвгеосинклинальных вулканогенных и вулканогенно-осадочных образований – эффузивов, туфов, туфобрекчий, туфопесчаников и др. Преимущественным развитием в бассейне пользуются регионально-трещинные и трещинно-жильные воды в гидрогеологических массивах и интермассивах, соответствующие выходам на поверхность кислых

Р.Ф. Абдрахманов*,

доктор геолого-минералогических наук, профессор, заместитель директора по науке, главный научный сотрудник лаборатории гидрогеологии и геоэкологии, ФГБУН Институт геологии Уфимского научного центра Российской академии наук

С.П. Носарева,

кандидат геолого-минералогических наук, научный сотрудник, ФГБУН Институт геологии Уфимского научного центра Российской академии наук



(граниты, гранито-гнейсы), средних (диориты, андезиты, порфириты), основных (базальты, диабазы) и ультраосновных (перидотиты, пироксениты, серпентиниты) пород. Наиболее трещиноватыми являются вулканогенно-осадочные породы (Уральская площадь). О распространении трещин на медноколчеданных месторождениях Южного Урала свидетельствуют водопритоки в карьерах. В трещинных зонах, прослеживающихся на глубину до 800 м и более, формируются трещинно-жильные воды, частично разгружающиеся в виде высокодебитных пресных источников в понижениях рельефа. Питаются они, в основном, за счет перетоков вод из зоны экзогенной трещиноватости. В глубоких частях этих зон, находящихся в обстановке затрудненного водообмена, вне сферы дренирующего воздействия рек, заключены высокоминерализованные воды. Решающее значение в формировании глубинной гидрогеохимической зональности горных

* Адрес для корреспонденции: hydro@anrb.ru

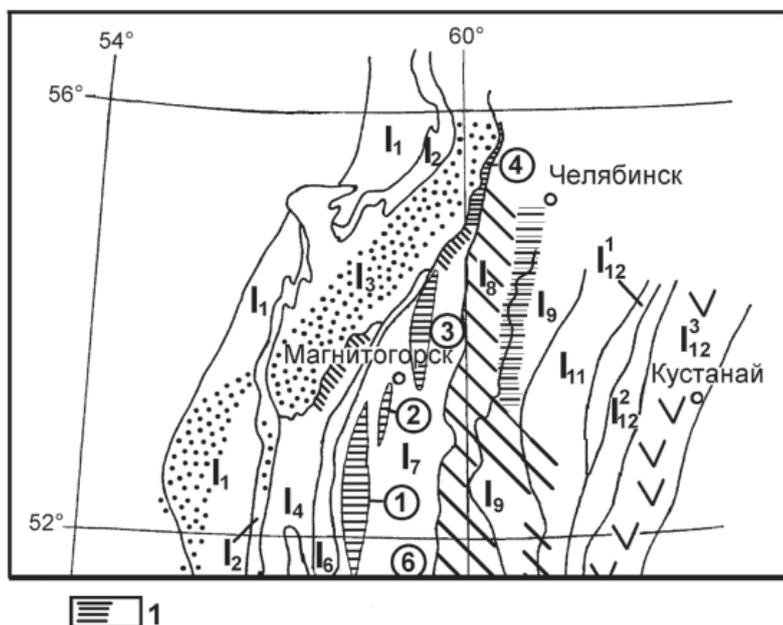


Рис. 1. Рудные пояса Южного Урала (по [1]).

1 – колчеданный рудный пояс. Колчеданоносные зоны (цифры в кружках): 1 – Тубинско-Гайская, 2 – Бакрузяк-Сибайская, 3 – Учалинско-Александринская.

Структурно-формационные зоны: I7 – Магнитогорская мегазона.

стран отводится динамике подземных вод. Важную роль в жизни подземных вод в пределах всех структурно-формационных зон Южного Урала играют исключительно процессы седиментогенеза, складкообразования, а также ландшафтно-климатические, геолого-тектонические и другие факторы.

Предгорные и равнинные районы Магнитогорского бассейна находятся в условиях засушливого климата и недостаточного увлажнения ($K_{увл} < 1$). По мере понижения рельефа и формирования глинистой коры выветривания увеличивается протяженность путей фильтрации инфильтрационных вод и снижаются их скорости. Все большую роль приобретают процессы не только физического, но и химического выветривания пород.

В результате воздействия инфильтрующихся атмосферных осадков на различные по литологии и генезису породы на Южном Урале формируются холодные (4–6 °С) кислородно-азотные пресные воды разнообразного ионно-солевого состава. Атмосферные осадки служат не только основным источником питания подземных вод, но и существенным источником привноса в них растворённых веществ. Средняя годовая минерализация осадков на Южном Урале составляет 20 мг/л. Они имеют смешанный состав главных ионов, среди которых преобладающими являются сульфатный (50,0–51,3 % или 4,9–7,2 мг/л) и кальциевый (37,7–48,1 % или 1,2–2,8 мг/л). Среди анионов второе место

занимает хлор – 26,5–28,9 % (1,9–3,0 мг/л), третье – гидрокарбонат (20,1–23,5 % или 2,9–3,6 мг/л), а среди катионов – соответственно, натрий – 29,2–31,4 % (1,4–2,3 мг/л) и магний – 22,7–30,8 % (0,6–0,8 мг/л). Согласно гидрогеохимической классификации [2] атмосферные воды относятся ко второму (сульфатно-натриевому) типу. Величина их pH изменяется в пределах 5,8–6,2, содержание CO_2 9–16, O_2 3–10 мг/л. Количество $Ca(HCO_3)_2$ (соли континентального происхождения) составляет 17–46 %, $CaSO_4$ и $MgSO_4$ (солей смешанного континентально-техногенного происхождения) – 35–60 %, а $NaCl$ (соли морского происхождения) – 14–31 %. В Магнитогорском мегасинклинии состав подземных вод разнообразен. Здесь наряду с гидрокарбонатными водами встречаются сульфатно-хлоридные и хлоридные воды смешанного трехкомпонентного состава. Минерализация изменяется от 0,5–0,7 до 2–3, иногда до 5 г/л.

В северной и средней его частях (до широты г. Баймак) воды в основном питаются атмосферными осадками. Подземные воды вулканогенных и вулканогено-осадочных образований силура и девона (баймак-бурибаевская, ирендыкская, улутауская и другие свиты) по анионному составу гидрокарбонатные, реже сульфатно-гидрокарбонатные – содержание HCO_3^- до 80–95 %, SO_4^{2-} до 30–35 %. Хлориды занимают резко подчинённое положение – 5–7 %. Среди анионов обычно доминирует кальций (45–70 %), за ним следуют магний (20–30 %) и натрий (5–25 %). Минерализация вод источников составляет 0,05–0,4 г/л, а неглубоких (до 80–100 м) скважин, вскрывающих менее трещиноватые и проницаемые породы в нижней части зоны выветривания – 0,4–0,7 г/л. В порфиритах и диабазах часто встречаются воды с преобладанием натрия (до 50–67 %), принадлежащие к слабовыраженному содовому типу (табл. 1, №№ 3, 5–12). Содержание $NaHCO_3$ в них изменяется в пределах 10–12, иногда до 37 % [3].

Наименее минерализованные (<0,2 г/л) гидрокарбонатные щелочноземельные воды чаще всего приурочены к вулканогенным кремнистым и кварцевым породам (сланцам, яшмам, порфиритам и их туфам), обладающим в обычных условиях очень низкой растворимостью. Концентрация кремнезема в них не превышает нескольких миллиграммов в литре. Поэтому присутствие SiO_2 в столь малых количествах не отражается на общем ионно-солевом составе воды, представленном преимущественно бикарбонатами кальция и магния. В качестве примера приводятся показатели химического состава

Таблица 1

Химический состав подземных вод Магнитогорского мегасинк-линория

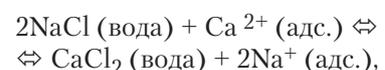
№ п/п	Абс. отм., м	Водовм. порода, возраст	Дебит, л/с Инт. опроб., м	М, мг/л	Ингредиенты, мг/л, %-экв						Индекс состава воды
					НСО ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺ +K ⁺	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Источники											
1	451	Порфириты, S+D	<u>2,5</u> -	279	244,07 83,9	13,93 6,1	17,01 10,0	45,69 50,0	25,78 46,3	3,91 3,7	C_{IIIa}^{MgCa}
2	437	Туфы, S+D	<u>11,5</u> -	551	109,83 89,6	10,09 10,4	- 0	29,66 69,5	6,93 26,8	1,84 3,7	C_{II}^{MgCa}
3	520	Диабазы, S+D	<u>1</u> -	335	317,29 92,9	10,09 3,7	6,74 3,4	50,70 44,8	7,66 11,2	57,03 44,0	C_I^{NaCa}
4	440	Диабазовые порфириты, S+D	<u>0,75</u> -	756	195,26 90,4	13,93 8,2	1,77 1,4	38,68 54,5	8,14 18,9	21,62 26,6	C_I^{NaCa}
5	525	Диабазы с линзами яшм, S+D	<u>1,6</u> -	258	109,83 65,7	40,35 30,7	3,55 3,6	21,04 37,9	3,16 9,4	33,57 52,7	SC_I^{NaCa}
Скважины											
6	567	Глины и порфириты кварцевые, S+D	<u>0,48</u> 4,5-52,4	456	317,3 90,0	3,84 1,4	17,73 8,6	48,1 41,5	9,73 13,8	59,33 44,7	C_I^{NaCa}
7	440	Туфы, кора выветривания, S+D	<u>1,6</u> 23-25	385	268,5 89,1	12,97 5,4	9,57 5,5	42,28 43,2	13,98 23,5	37,49 33,3	C_I^{MgNaCa}
8	540	Порфириты плагиоклазовые, S+D	<u>0,55</u> 14,5-46	258	183,1 92,0	10,09 6,5	1,77 1,5	40,08 60,1	8,51 21,0	14,49 18,9	C_I^{MgCa}
9	420	Туфы, туфобрекчии, S+D	<u>1,54</u> 10,7-37,5	281	201,4 93,2	8,56 5,4	1,77 1,4	38,28 52,5	10,46 23,6	20,01 23,9	C_I^{NaMgCa}
10	400	Глины, порфириты, S+D	<u>0,44</u> 3,7-23,13	287	192,2 84,2	19,69 11,0	6,38 4,8	24,45 32,5	16,05 35,1	28,06 32,4	C_I^{NaCaMg}
11	390	Порфириты, S+D	<u>0,45</u> 9-45,3	429	244,1 68,7	39,87 14,3	35,10 17,0	35,07 30,1	20,67 29,2	54,5 40,7	C_I^{MgCaNa}
12	356	Туфы порфиритов, S+D	<u>0,5</u> 16-42,3	475	195,3 47,9	74,93 23,4	68,08 28,7	17,44 13,04	16,05 19,8	103,0 67,2	$SCIC_I^{NaCa}$

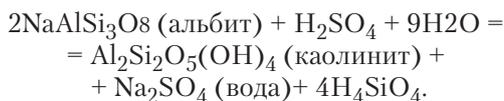
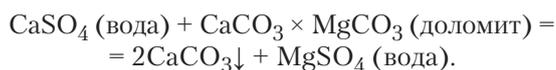
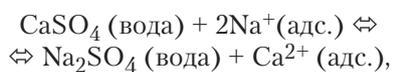
вод, вскрытых скважиной на глубине 1,5 м в яшмах и кварцевых альбитофирах (%): НСО₃ – 81, SO₄ – 16, Cl – 3, Ca – 56, Mg – 26, Na – 18.

В осадочных терригенных породах зилаирской (D₃-C_{1т}), флишевых уртазымской (C_{2т}) и карбонатных кизильской (C_{1v2-n}) свит формируются пресные (0,1-0,5 г/л) гидрокарбонатные воды.

В большинстве случаев воды вулканогенных и вулканогенно-осадочных толщ палеозоя пяти- и шестикомпонентные – сульфатно-хлоридные магниевое-кальциевое-натриевые, гидрокарбонатно-сульфатно-хлоридные кальциевое-магниевое-натриевые и др. В подобной гидрогеохимической ситуации сложен и солевой состав вод, представленный

практически всеми соевыми ассоциациями. Но главную роль среди них всё же играют NaCl, Ca(HCO₃)₂ и MgSO₄, а подчинённую – CaSO₄, Na₂SO₄, Mg(HCO₃)₂, MgCl₂, иногда CaCl₂. При этом первичными солями, поступающими в раствор путём их непосредственного конгруэнтного выщелачивания из пород, являются хлориды натрия, сульфаты кальция, а также гидрокарбонаты кальция и магния. Остальные соли имеют вторичное происхождение; они образуются в результате метаморфизации исходных первичных вод за счёт процессов обменной адсорбции, дедолитизации и др.:





В последнем случае сернокислотного выщелачивания натриевого полевого шпата серная кислота, участвующая в реакции, своим происхождением обязана процессам окисления сульфидных минералов. Однако эти процессы наиболее значимы для медноколчеданных месторождений Южного Урала. Рудные тела, представленные пиритом, халькопиритом, сфалеритом и другими минералами, связаны с диабазово-риолитовой формацией девона и залегают на глубине от нескольких десятков до 500–700 м. В естественных условиях в районах сульфидных месторождений распространены преимущественно гидрокарбонатные кальциевые воды с минерализацией <1 г/л и величиной pH 6,5–8,1. Разработка месторождений вызвала коренные изменения геохимического облика вод. Вблизи рудных тел под влиянием окисляющихся сульфидов металлов сформировались очень кислые (pH 2,0–4,0) сульфатные воды (до 80–96 % SO_4^{2-}) пёстрого катионного состава с минерализацией до 8–20 г/л. В высоких концентрациях в них присутствуют железо, медь, цинк и другие металлы. Примером рудничных «полиметальных» вод являются воды Учалинского месторождения следующего состава (мг/л): Fe – 0,75, Cu – 0,175, Zn – 0,58, Mn – 0,028; минерализация 11,9 мг/л, pH 4,1. Содержание компонентов составляет (%): SO_4 – 96, Cl – 4, Na – 50, Mg – 26, Ca – 24.



Ключевые слова:
геологическая среда,
горнорудный район,
колчеданные
месторождения,
микрокомпоненты,
подземные воды,
подотвальные воды,
рудообразующие
элементы,
отвалы,
рудничные воды

Подобные очень кислые (pH 2–5) сульфатные воды с минерализацией до 20 г/л, высокими концентрациями железа, меди, марганца и других металлов установлены на Сибайском, Маканском, Бурибайском, Гайском и других колчеданных месторождениях Южного Урала.

В сравнении с водами, находящимися вне рудных тел и его литохимических ореолов, водные ореолы вблизи рудной минерализации в породах характеризуются повышенным содержанием рудообразующих элементов и их спутников, а также повышенным содержанием сульфат-иона и пониженным значением pH.

Результаты и их обсуждение

Одной из основных исторически сложившихся отраслей экономики Южного Урала является добыча и переработка горнорудного минерального сырья. На территории изучаемого региона известно свыше пятисот месторождений меди, цинка, железа, марганца, золота и других рудных полезных ископаемых. Колчеданные месторождения являются серьезным источником загрязнения геологической среды, что приводит к формированию специфического «сернокислого техногенного ландшафта», оказывающего негативное воздействие на всю окружающую среду.

Спектр элементов в литосубстрате региона определяется набором минералов. Главными рудными минералами колчеданных месторождений являются пирит, халькопирит и сфалерит, а в подчиненном количестве присутствуют магнетит, теннантит, борнит, арсенипирит и пирротин. Эти минералы кроме собственного химического состава обладают определенным набором сопутствующих элементов, которые в условиях активного воздействия агентов окружающей среды могут переходить в подвижное состояние и вовлекаться в миграцию.

Фоновые (наиболее часто встречающиеся в водах на Южном Урале) содержания микроэлементов (при pH вод 6,3–8) приведены в *табл. 2*.

В водных ореолах колчеданных месторождений обнаруживаются повышенные относительно фона содержания Cu, Zn, Pb, Mo, As, Mn, Al, Ni, Co, Ag, Ba, Sn, V, Sb, P. Степень аномальности содержания перечисленных компонентов в водном ореоле определяется процессами разрушения рудных тел, химическим составом руд и пород. По химическим признакам в составе водных ореолов выделяются три зоны: зона вод рудного тела,

Таблица 2

Распределение отдельных микрокомпонентов в околорудных подземных водах колчеданосных рудных районов (по [4])

Элемент	Содержание, мг/л, минимум – максимум среднее			ПДК химических элементов в питьевых водах (СанПиН 2.1.4.1074-01)*
	Учалинский район	Баймакский район	Бурибай-Гайский район	
Cu	<u>Сл. – 32,0</u> 0,1	<u>Сл. – 120,0</u> 0,5	<u>Сл. – 674,0</u> 0,5	1,0
Zn	<u>0,05 – 110,0</u> 0,8	<u>0,005 – 175,0</u> 0,4	<u>0,002 – 9145</u> 1,2	5,0
Pb	<u>Сл. – 0,074</u> 0,02	<u>Сл. – 0,2</u> 0,01	<u>Сл. – 15,8</u> 0,08	0,03
As	<u>Сл. – 0,001</u> Сл.	<u>Сл. – 0,002</u> 0,0005	<u>Сл. – 0,02</u> 0,0005	0,05
Sb	<u>Сл. – 0,01</u> 0,001	<u>Сл. – 0,01</u> Сл.	<u>Сл. – 0,01</u> 0,001	0,05
Mn	<u>Сл. – 0,5</u> 0,1	<u>Сл. – 4,6</u> 0,2	<u>0,1 – 22,0</u> 0,5	0,1
Ni	<u>Сл. – 1,0</u> 0,001	<u>Сл. – 1,5</u> 0,001	<u>Сл. – 5,0</u> 0,01	0,1
Cr	<u>Сл. – 0,01</u> Сл.	<u>Сл. – 0,01</u> 0,001	<u>Сл. – 0,01</u> 0,001	0,05
Mo	<u>Сл. – 0,01</u> Сл.	<u>Сл. – 2,0</u> 0,001	<u>Сл. – 1,1</u> 0,003	0,25
Be	Сл.	<u>Сл. – 0,0003</u> Сл.	<u>Сл. – 0,0005</u> Сл.	0,0002
Sr	<u>Сл. – 1,5</u> 0,01	<u>Сл. – 6,0</u> 0,01	<u>Сл. – 1,6</u> 0,01	7,0
Ba	<u>Сл. – 0,001</u> Сл.	<u>Сл. – 0,001</u> Сл.	<u>Сл. – 0,01</u> 0,001	0,1
V	<u>Сл. – 0,01</u> Сл.	<u>Сл. – 0,2</u> 0,001	<u>Сл. – 0,2</u> 0,001	0,1
Bi	<u>Сл. – 0,002</u> Сл.	<u>Сл. – 0,01</u> 0,001	<u>Сл. – 0,02</u> 0,001	0,1

*СанПиН 2.1.4.1074-01. Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем водоснабжения. Контроль качества. М., 2001

зона вод первичного ореола и зона вод вторичного литохимического ореола.

Концентрация металлов в водах зависит от многих причин, важнейшими из которых являются металлогенические особенности района, состав водовмещающих пород, интенсивность водообмена и тип вод. Например, в Учалинском районе фоновые содержания мышьяка в природных водах в 5–10 раз выше, чем в водах других районов Южного Урала (до 0,005 мг/л) [5]. Воды в серпентинитах за пределами влияния месторождений в Баймакском и Хайбуллинском районах отличаются более высоким содержанием никеля (в 3–5 раз). Фоновые содержания меди, цинка и молибдена в поверхностных водах на площади Магнитогорской мегазоны примерно в 2 раза ниже, чем в подземных [6].

Для вод зоны рудного тела характерны аномальные содержания большинства элементов и фоновое содержание молибдена и мышьяка. Воды первичного ореола отличаются от предыдущих фоновой концентрацией алюминия и мышьяка, а также аномально высоким содержанием молибдена.

Техногенная деградация подземной гидросферы горнорудных районов обусловлена накоплением твердых отходов и сбросом жидких промстоков. Трещинный и трещинно-жильный характер подземных вод и слабое развитие перекрывающих пород способствуют беспрепятственному проникновению концентрированных растворов, содержащих тяжелые металлы, в водоносные горизонты. Все это приводит к формированию на территории горнорудных узлов техногенных гид-

рогеохимических полей трансформированных вод. На Бурибайском, Сибайском, Учалинском и других сульфидных месторождениях формируются очень кислые (рН 2–5) сульфатные воды с минерализацией до 20 г/л и высокими концентрациями железа (до 375 мг/л), меди (до 140 мг/л), цинка (до 110 мг/л) и других металлов.

По данным [7] геологическая среда в пределах горного производства в основном затрагивает и изменяет две экологические функции – ресурсную (истощение сырьевых запасов) и геохимическую (перераспределение химического вещества в природе). Масштабы и интенсивность антропогенных геохимических аномалий во много раз превышают природные геохимические аномалии. Химический состав пород и руд является определяющим для природных вод, которые их дренируют.

Среди элементов, присутствующих в сточных водах горных предприятий, экологически наиболее опасны не сами типоморфные элементы месторождений (медь, цинк, свинец), а микроэлементы-спутники, такие как кадмий, ртуть, мышьяк, сурьма, имеющие минимальные ПДК в питьевой воде. Эти элементы опасны еще в связи с тем, что большая их часть подвержена процессам метилирования с образованием различных форм $Cd(CH_3)^+$, $Hg(CH_3)^+$, $As(CH_3)_3$, токсичность которых на порядок и более выше, чем у простых катионных форм. По данным [8]), в связи с распространением этих элементов в подземных водах известны массовые случаи отравления населения мышьяком и ртутью (на Урале и в некоторых рудных районах западных штатов США).

Различен и опасен состав рудничных вод в пределах колчеданных месторождений Магнитогорской мегазоны. В пределах

Сибайского месторождения формируются преимущественно гидрокарбонатные кальциевые и натриевые воды с минерализацией 0,26–0,95 г/л и величиной рН 6,8–7,7 [6]. Содержания микрокомпонентов в воде (Cu 0,5–1,0; Zn 1,3–11,0; Pb 0,1–0,2; Mn 0,4; Hg 0,01 мг/л) близки к фоновым. В зоне влияния месторождения на подземные воды в результате смешения с рудными водами состав воды становится гидрокарбонатно-сульфатным и возрастает содержание микрокомпонентов (мг/л): железа до 45; меди 0,002–0,6; цинка 0,03–2,0 и др. На Сибайском и других медноколчеданных месторождениях вблизи рудных тел, залегающих среди туфогенных пород кислого состава, под влиянием окисляющихся сульфидов формируются кислые (рН 3,6–4,3) почти исключительно сульфатные воды (до 96 % SO_4^{2-}) пестрого катионного состава с минерализацией до 8–12 г/л. В них установлены: Fe^{2+} 0,2–200; Fe^{3+} 0,2–19,5; Cu 8,4–175; Zn 174–576 мг/л и др. Анализ гидрогеохимических данных за последние 30 лет свидетельствует о росте минерализации рудничных вод и концентрации в них металлов [9]. В зонах, примыкающих к рудным телам, формируются сульфатные воды с минерализацией 0,66–1,5 г/л, рН от 6,7 до 7,6 и широким спектром микрокомпонентов (мг/л): железо 1,5–160; медь 0,007–1,75; цинк 0,04–2,5; молибден до 0,003 и др. Состав вод Бурибаевского месторождения сульфатный с минерализацией до 4,7 г/л; рН 3–5,2; содержание железа окисного до 225, железа закисного до 375, меди до 140, цинка до 66, молибдена до 1,1 мг/л и др. Компонентный состав следующий (%): SO_4 – 86, Cl – 14, Ca – 45, Mg – 37, Na – 18.

В районе Учалинского месторождения распространены пресные гидрокарбонатные кальциевые, реже натриевые воды с минера-



Таблица 3

Коэффициент водной миграции халькофильных элементов в подотвальных водах колчеданных месторождений Южного Урала [11]

Месторождение	Минерализация воды, г/л	Коэффициент водной миграции					
		Fe	Cu	Zn	Cd	Se	As
Баймакский район							
Сибайское	515,24	0,181	1,883	7,058	10,38	-	0,0002
Учалинский район							
Учалинское	346,02	0,194	1,582	2,463	2,546	0,012	0,0027
Имени XIX партсъезда	9,27	0,154	0,925	0,574	0,862	0,086	0,027

лизацией 0,65 г/л, рН 6,4–7,2; вблизи рудных тел под влиянием окисляющихся сульфидов формируются сульфатные воды с минерализацией 1,0–3,0 г/л и рН 4–6,5. В этих водах содержится в повышенных количествах (мг/л): железо закисное 0,2–200, железо окисное 0,2–19,5, медь 0,01–7,6, цинк 0,4–110, свинец 0,012–0,074, молибден до 0,002, марганец до 0,5 и др. Кислые рудничные воды (рН 3–6) принадлежат, как правило, к типу IV ($\text{HCO}_3^- = 0$), а при более высоких значениях рН – к типу II. Концентрации железа и других металлов в них достигают столь больших величин, что они замещают ионы кальция и магния в формуле ионного состава.

Самыми высокотоксичными являются жидкие стоки хвостохранилищ, которые загрязнены тяжелыми металлами (мг/л): Hg до 0,09, Pb до 0,681, Cu до 12,31, Zn до 12,055, Fe до 0,419 [10]. Содержание ртути в 30 раз выше максимальной концентрации в подземных водах.

Огромные объемы отвалов обеспечивают столь же большие массы токсичных подотвальных вод. Последние представляют собой минеральное сырье, в котором по уровню концентраций содержание главных элементов соизмеримо со средними содержаниями в рудах, в то же время высокие концентрации металлов определяют высокую токсичность подотвальных вод. По комплексу и концентрациям многих элементов отвалы даже более активны, чем многие рудные месторождения [8].

В подотвальных водах Баймакского медносерного комбината содержится более 0,2 мг/л меди, до 0,04 мг/л цинка, более 10 мг марганца, до 0,2 мг/л никеля. Минерализация их нередко превышает минерализацию рудничных вод, а огромные объемы отвалов обеспечивают столь же большие массы подотвальных вод [9]. Высоки коэффициенты водной миграции типоморфных элементов (табл. 3).

Подотвальные воды колчеданных месторождений также характеризуются низкими значениями рН и высокими Eh. Почти повсеместно отсутствует гидрокарбонат-ион. Несмотря на невысокие содержания редких, редкоземельных и радиоактивных элементов (уран, торий) в литосубстрате процессы техногенеза приводят к их накоплению в сточных водах, в том числе токсикантов первого класса опасности (мг/л): Cd до 31,4; Tl до 0,01; U до 1; Th до 0,8; Be до 0,13.

Заключение

Очевиден вывод о том, что поверхностные и подземные воды горнорудной провинции Южного Урала (Баймакский, Учалинский, Сибайский и другие рудные районы) в условиях интенсивно проявляющегося техногенеза нуждаются в защите. Особенно сильное воздействие испытывают поверхностные водотоки, которые являются основным источником водообеспечения предприятий и населения. Подземные воды также испытывают техногенную нагрузку. Характерной особенностью техногенеза горнорудного профиля является глубокое проникновение техногенных процессов в геологическую среду (до 2000 м). Наиболее интенсивно эти процессы проявляются на территориях, где одновременно производится промышленное освоение целой группы близко расположенных друг к другу месторождений полезных ископаемых (Баймакский, Учалинский и другие рудные районы). Трещинный и трещинно-жильный характер подземных вод и слабое развитие перекрывающих пород способствует беспрепятственному проникновению концентрированных растворов, содержащих тяжелые металлы, и приводит к формированию техногенных гидрогеохимических полей трансформированных вод [9]. Сложный и многоаспектный характер загрязнения подземной гидросфе-

ры диктует необходимость создания гидрогеологических полигонов. Это предполагает создание современной системы мониторинга, разработки высокопроизводительных и эффективных технологий очистки и утилизации твердых и жидких отходов горнорудных предприятий.

Литература

1. Серавкин И.Б. Металлогения Южного Урала и Центрального Казахстана. Уфа: АН РБ, Гилем, 2010. 284 с.
2. Алёкин О.А. Основы гидрохимии. Л.: Гидрометеиздат, 1970. 442 с.
3. Абдрахманов Р.Ф. Геохимия и формирование подземных вод Южного Урала / Р.Ф. Абдрахманов, В.Г. Попов // Отв. ред. чл.-корр. РАН В.Н.Пучков. Уфа: АН РБ, Гилем, 2010. 420 с.
4. Черняев А.М. Гидрохимия малых, редких и рассеянных элементов (Южный Урал, Зауралье и Казахстан) / А.М. Черняев, Л.Е. Черняева, В.Н. Бабченко. Л.: Гидрометеиздат, 1970. 164 с.
5. Засухин Г.Н. Опыт применения геохимических методов поисков колчеданных месторождений на Южном Урале / Г.Н. Засухин, Л.А. Логинова. М.: Госгеолиздат, 1963. 204 с.

6. Черняев А.М. Очерки по гидрохимии подземных вод (Ю. Урал и Зауралье) / А.М. Черняев, Л.Е. Черняева / Свердловск: Средне-Уральское кн. изд-во, 1973. Вып. 2. 196 с.
7. Трофимов В.Т. Итоги и задачи развития экологической геологии // Вестник МГУ. Серия 4. Геология. 2004. С. 44–51.
8. Крайнов С.Р. Геохимия подземных вод. Теоретические, прикладные и экологические аспекты / С.Р. Крайнов, Б.Н. Рыженко, В.М. Швец. М.: Наука, 2004. 677 с.
9. Абдрахманов Р.Ф. Гидрогеоэкология Башкортостана. Уфа: Информреклама, 2005. 344 с.
10. Зайнуллин Х.Н. Обращение с отходами производства и потребления / Х.Н. Зайнуллин, Р.Ф. Абдрахманов, У.Г. Ибатуллин и др. Уфа: Диалог, 2005. 292 с.
11. Емлин Э.Ф. Кадмий в геотехносфере Урала. Екатеринбург: Изд-во УГГГА, 1997. 283 с.



R.F. Abdrakhmanov, S.P. Nosareva

GROUNDWATERS AS INDICATOR OF ENVIRONMENTAL SITUATION OF MINING AREA IN SOUTH URAL

South Ural is a classical region of distribution of Devonian massive sulfide deposits. In the volcanic-sedimentary rocks of the eastern provinces of South Ural Mining (Magnitogorsk megazone) developed cracks and fracture-vein underground

water. In the oxidation zones of chalcopyrite deposits of the Magnitogorsk basin formed by acid sulfate polymetallic water, which are a major source of pollution of the geological environment.

Key words: geological environment, mining district, massive-sulphide deposits, microcomponents, groundwater, ore-forming elements, dumps, mine waters