

# НЕГАТИВНОЕ ВЛИЯНИЕ ПРЕДПРИЯТИЙ ГОРНОЙ ОТРАСЛИ НА ГИДРОСФЕРУ ЮЖНОГО УРАЛА

**Поверхностные водотоки, являющиеся основными источниками водообеспечения предприятий и населения, при обработке и обогащении Cu-Zn-колчеданных руд подвержены возникновению техногенных вод. Проведена геоэкологическая оценка состояния поверхностных и подземных вод в пределах Учалинского колчеданного месторождения в условиях интенсивного развития горнорудной промышленности. В пределах Учалинского месторождения выделены 4 типа техногенных вод: кислые подотвальные, щелочные дренажные, щелочные транзитно-аккумулятивные и околонеутральные аккумулятивные. Речные и подземные воды испытывают техногенную нагрузку в результате воздействия выше перечисленных техногенных вод.**



## Введение

**Б**урный рост горно-металлургического производства на Южном Урале приводит к накоплению гигантских объемов твердых, жидких и газопылевых отходов. На территории изучаемого региона известно свыше пятисот месторождений меди, цинка, железа, марганца, золота и других рудных полезных ископаемых. В процессе добычи полезных ископаемых извлекаются миллиарды тонн горной массы, нарушающие природный ландшафт. Непрерывный рост отходов горного производства является главным фактором их негативного воздействия на окружающую геологическую среду и неизбежно приводит к изменению эколого-геохимического равновесия в поверхностной и подземной гидросфере региона. Отходы содержат тот же спектр химических элементов, что и компоненты руд и рудовмещающих пород. По данным [1] содержание металлов в отходах горнорудного производства в большинстве случаев превышает фоновое и фоновое значения.

**Г.Т. Шафигуллина\***,  
кандидат геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник,  
Учреждение Российской академии наук Институт геологии Уфимского научного центра РАН

**С.П. Носарева**,  
кандидат геолого-минералогических наук, научный сотрудник,  
Учреждение Российской академии наук Институт геологии Уфимского научного центра РАН

Для геоэкологической оценки загрязнения поверхностных и подземных вод Южного Урала в качестве объекта со сформированным природно-техногенным ландшафтом выбрана зона влияния Учалинского горно-обогатительного комбината (УГОК) и отвалов Учалинского месторождения. В процессе отработки Учалинского месторождения образуется большое количество техногенных подотвальных вод и вод, связанных с рудничным водоотливом. Как показано в работе [2], воды, сосредоточенные возле отвалов вскрышных пород и имеющие низкое значение pH (в основном менее 5) и высокие уровни содержания металлов, пройдя станцию нейтрализации и сбросив часть металлов, поступают в пруд-отстойник Буйда, построенный в верховье р. Буйда. Образующиеся при нейтрализации новые тонкодисперсные фазы (гипс) не осаждаются и выносятся в речную сеть рек. Буйда и Кидыш.

\* Адрес для корреспонденции: [jalalova\\_g@mail.ru](mailto:jalalova_g@mail.ru)

Целью изучения современного состояния поверхностных вод в районе УГОК опробованы природные, природно-техногенные и техногенные водотоки на значительной территории, позволяющей оценить пространственную изменчивость концентраций тяжелых металлов и их воздействие на эколого-геохимическое равновесие на окружающую среду. В качестве фоновых водотоков приняты малые реки Ерекле и Ямьелга, не подверженные техногенному воздействию. Из техногенных водотоков опробованы: подотвальные воды, дренажные технологические воды из-под дамбы хвостохранилища, из пруда-отстойника Буйда, а также загрязненные природные воды на удалении более 6 км от источника загрязнения. Концентрация металлов во всех исследуемых материалах определялась методом атомно-абсорбционной спектрометрии на приборах «Perkin-Elmer 3110» с пламенным режимом атомизации и «Analyst 300 HGA 850» с электротермическим режимом атомизации [3].

В ходе полевых и лабораторных геоэкологических исследований изучались геохимические, гидрогеологические и геоэкологические особенности горнорудных районов Южного Урала, включая анализы на техногенно-минеральные образования, их макро- и микрокомпонентный состав (более 500 анализов) [1].

**П**оверхностные воды. Техногенные воды, образованные совокупностью технологических процессов при обработке и обогащении руд, являются одним из факторов загрязнения окружающей среды в пределах Учалинского горнорудного района и на удалении от него.

Воды в зоне деятельности УГОК подразделены на 5 групп (по степени уменьшения кислотности) [2, 4]: I – сильнокислые воды ( $pH < 3,0$ ) с высоким содержанием металлов; II – слабокислые воды ( $pH$  от 3,0 до 4,9) с повышенным содержанием металлов; III – субнейтральные и слабощелочные воды ( $pH$  от 5,1 до 8,0) с повышенным содержанием металлов; IV – нейтральные воды ( $pH$  от 6,5 до 7,0) с низким содержанием металлов, характеризующие фоновые водотоки; V – сильнощелочные воды ( $pH > 8,0$ ) с повышенным содержанием металлов.

По положению в природно-техногенной системе и условиям образования выделены четыре контрастных «генетических» типа техногенных вод, возникновение которых обусловлено спецификой технологических процессов при отработке Учалинского месторождения и обогащении руд (рис. 1). Воды каждого из выделенных типов преимущественно обладают определенной гидрохимической характеристикой, но состав вод в пределах одного из типов иногда значительно варьирует, в связи с чем выделяется несколько их подтипов.

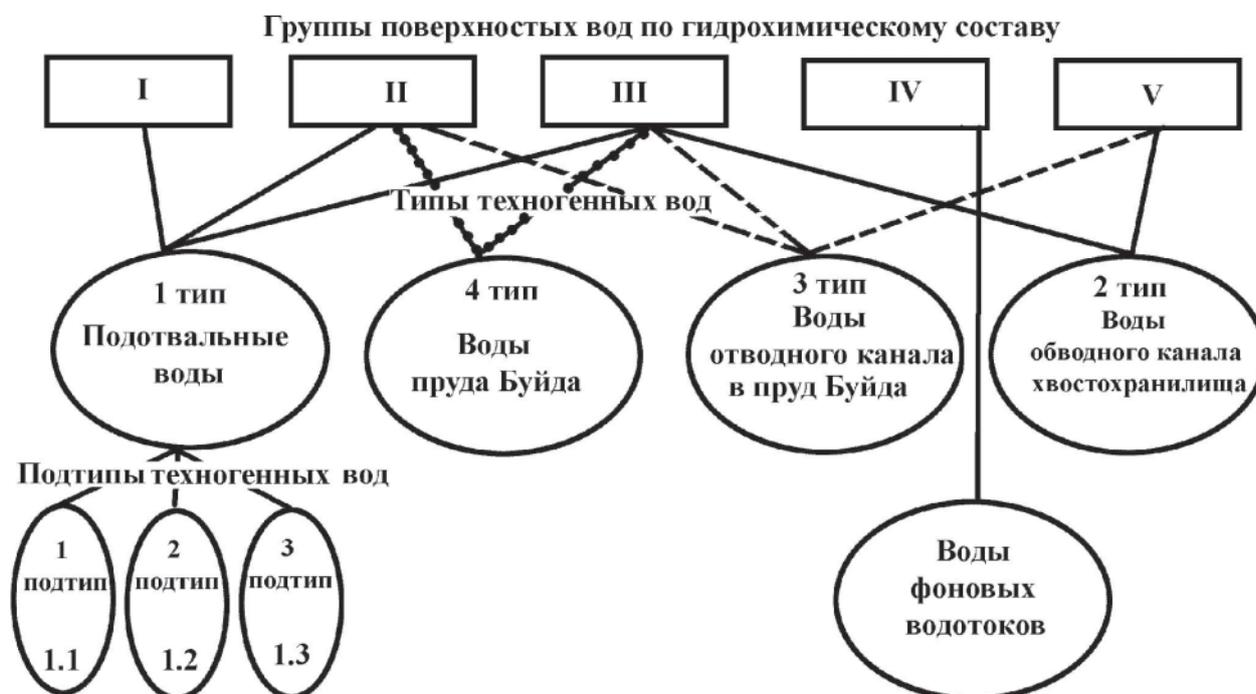
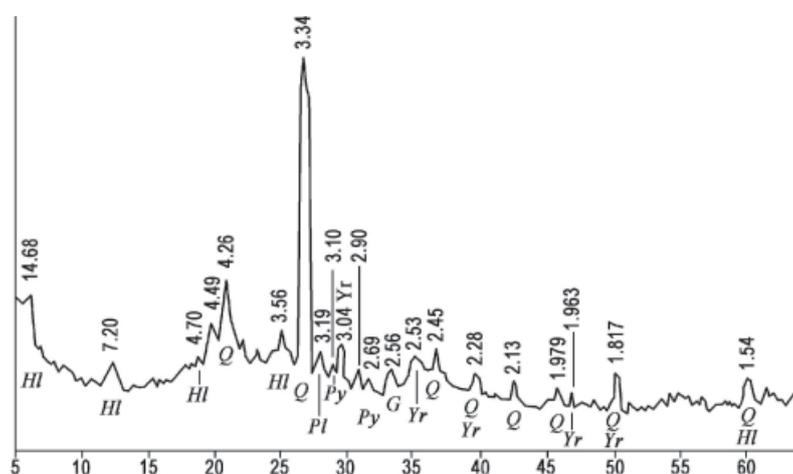


Рис. 1. Схема соотношений типов техногенных вод с их группировкой по гидрохимическому составу.

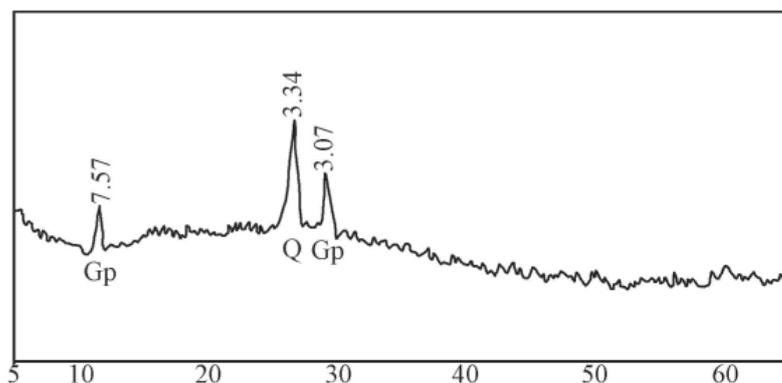
*Первый тип* представлен подотвальными ультракислыми сульфатными железо-алюминиево-магниевыми водами (pH 2,8-4,5) и высокой тяжелометалльной нагрузкой (1.1 и 1.2 подтипы); встречаются также околонеутральные воды с pH 6,88-7,10 (1.3 подтип). Подотвальные воды первого подтипа более кислые и имеют высокие содержания металлов – Fe, Cu, Zn, Pb, Al, Mg, Ca, K, Na. Высокие концентрации Fe (235-281 мг/л) образуются при окислении пирита в наиболее кислых водах (pH 2,72-2,93), которые агрессивны и могут разлагать алюмосиликаты и другие минералы, освобождая металлы, в том числе редкоземельные элементы, в раствор. Разнообразный по концентрациям металлов и значениям pH и Eh состав подотвальных вод объясняется неоднородностью отвалов вскрышных пород и соотношений содержания в них сульфидных кислотообразующих и буферных минералов. Химический состав (мг/л):  $SO_4^{2-}$  98,5,  $Cl^-$  1,5, Fe 64, Al 33, Mg 2. Минерализация 404 мг/л, pH 2,72. Появление сульфат-иона в анионной части, а железа и алюминия в катионной в качестве доминирующих свидетельствует о типичном сернокислотном техногенезе. Вовлечение в миграционные циклы литофильного элемента – алюминия свидетельствует о глубокой трансформации природно-технической системы.

В кислых подотвальных водах первого подтипа по данным рентгенографических анализов диагностированы аутигенные минералы – ярозит и гидрогематит, которые образовались в результате химического и химико-бактериального осаждения из кислых вод (рис. 2). Следовательно, концентрация желе-



**Рис. 2.** Дифрактограмма взвеси подотвальных вод первого подтипа.

HI – хлорит, Q – кварц, Pl – плагиоклаз, Py – пирит, Yr – ярозит, G – гидрогематит.



**Рис. 3.** Дифрактограмма взвеси обводного канала хвостохранилища.

Q – кварц, Gp – гипс.

за в кислых подотвальных водах зависит от осаждения ярозита и гидрогематита.

*Второй тип* представлен дренажными водами обводного канала хвостохранилища, которые формируются за счет оборотной воды обогатительной фабрики. Реакция вод этого типа, в основном, сильнощелочная с pH 10,8-11,7, низким Eh и низкой тяжелометалльной нагрузкой; реже встречаются околонеутральные воды с pH 6,9-7,1. В щелочных водах из обводного канала хвостохранилища определен гипс (рис. 3).

*Третий тип* характеризует воды транзитно-аккумулятивной системы – отводного канала в пруд Буйда с широким диапазоном значений pH и тяжелометалльной нагрузки.

*Четвертый тип* вод формируется в технологическом пруде-отстойнике Буйда аккумулятивного типа, имеет околонеутральную и слабокислую реакции и представлен хлоридно-сульфатными кальциевыми водами.

Соответствие выделенных типов техногенных вод группам поверхностных вод по составу (pH-S Me) показано на схеме (рис. 1).

Для оценки и анализа техногенных изменений в водах рек необходимо также определить фоновые концентрации химических элементов. Гидрохимия и водный режим фоновых водотоков обусловлены природными факторами – климатическими, геологическими, почвенными и др. Основными, непосредственно формирующими гидрохимию фоновых водотоков, являются геологические и почвенные факторы. Горные породы различного возраста, их химический состав и характер почвы определяют не только сток, но и гидрохимический состав реки. Факторами опосредованного влияния на химический состав воды являются климатические условия. Речные природные воды

относятся к гидрокарбонатно-кальциевому и гидрокарбонатно-магниевого типа, отличаюсь в разных реках по катионному составу и минерализации. Исследования минеральных фаз из донных осадков рек свидетельствуют о наличии «фоновых» минералов.

Установлены основные формы переноса металлов в составе вод: для Fe – взвешенная (до 90 % от общего объема), для Mn, Co, Ni и Cu – растворенная, (65-90 % от общего объема миграционных форм). Для двух исследованных природных рек марганец обнаруживает прямо противоположные формы миграции – в р. Ерекле 84 % приходится на взвешенные формы, а в р. Кидыш 89 % – на растворенные.

Агрессивные техногенные воды в результате прохождения станции нейтрализации и пруда-отстойника, а также в процессе миграции по техногенным и природным водотокам постепенно меняют свой состав и теряют груз тяжелых металлов. Однако в природном водотоке на расстоянии более 6 км от источника загрязнения воды все еще сохраняют вредные для окружающей среды свойства, что требует усиления природоохранных мероприятий.

Подземная гидросфера, являющаяся неотъемлемой частью гидрогеосферы, наиболее используемая, уязвимая и динамичная. Состав подземных вод определяется не только вещественным составом водоносных горизонтов, но также влиянием техногенных вод. Такими опасными загрязнителями подземной гидросферы являются подотвальные, шахтные, карьерные воды и хвосты обогащения, содержащие большие количества особо токсичных элементов. Поступление тяжелых металлов по системе «техногенная вода-почвенный водоносный горизонт» в подземную гидросферу приводит к формированию аномальных вод.

**Ключевые слова:**

геологическая среда,  
гидросфера,  
техногенное  
воздействие,  
отходы горной  
отрасли,  
подотвальные воды,  
техногенные воды,  
хвостохранилища

По данным [5] отвалы Учалинского месторождения составляют 280 млн. т. Породы отвалов (базальты, андезиты-базальты, туфы и брекчии основного состава, риолиты, дациты, их туфы и лавобрекчии, серицит-кварцевые, серицит-хлорит-кварцевые метасоматиты с вкрапленностью сульфидов и др.) в различной степени сульфидизированы. Средневзвешенное содержание меди в отвалах достигает 224 тыс. т, цинка – 565 тыс. т, серы – 11,1 млн. т.

По ореолам рассеяния тяжелых металлов выделены рудные, ореольные (аномальные) и фоновые подземные воды [3]. Формирование рудных подземных вод с высоким содержанием халькофильных элементов происходит в результате окисления и выщелачивания руд вблизи колчеданных месторождений с хорошо развитой зоной гипергенеза [1]. Площади развития этих вод полностью оконтуривают рудные тела, залегающие на больших глубинах.

В зонах воздействия окисляющихся рудных тел в подземных водах образуется гидрохимическая зональность [1]. Одна зональность заключается в закономерной смене подземных сульфатных вод через сульфатно-хлоридные, хлоридно-сульфатные к хлоридным по мере удаления от месторождения, расположенного в зоне циркуляции хлоридных вод.

В зоне циркуляции гидрокарбонатных вод характер зональности будет следующим: по мере приближения к месторождению гидрокарбонатные воды будут сменяться гидрокарбонатно-сульфатными, сульфатно-гидрокарбонатными и сульфатными [6].

На Учалинском колчеданном месторождении вблизи рудных тел, залегающих среди туфогенных пород кислого состава, под влиянием окисляющихся сульфидов формируются кислые (рН 3,6–4,3) почти чистые





сульфатные воды (до 96 %  $\text{SO}_4^{2-}$ ) различного катионного состава с минерализацией до 8–12 г/л. В них установлены:  $\text{Fe}^{2+}$  0,2–200,  $\text{Fe}^{3+}$  0,2–19,5,  $\text{Cu}$  8,4–175,  $\text{Zn}$  174–576 мг/л. Анализ гидрогеохимических данных за последние 30 лет свидетельствует о росте минерализации рудничных вод и концентрации металлов. При поступлении вод в общий водосборник, после смешения в дренажной системе, минерализация их снижается до 2–3 г/л [7]. Рудничные воды Учалинского комбината формируются за счет поверхностных и подземных вод. Объем откачиваемых дренажных вод составляет 2,2–2,8 млн. м<sup>3</sup> в год.

Как было отмечено выше, в зависимости от воздействия окисляющих рудных тел фор-

**Таблица 1**

Основные показатели химического состава подотвальных вод [8]

Компоненты и показатели	Место отбора	
	Учалы, проба 40	Учалы, проба 41
$\text{Ca}^{2+}$ , мг/л	185,2	46,5
$\text{Mg}^{2+}$ , мг/л	180,7	5530
$\text{Na}^+ + \text{K}^+$ , мг/л	11,3	13,2
$\text{Fe}^{3+}$ , мг/л	220	909
$\text{Mn}$ , мг/л	11,9	72,8
$\text{Cu}$ , мг/л	14,9	72,8
$\text{Zn}$ , мг/л	34,7	418,6
$\text{SO}_4^{2-}$ , мг/л	2514,0	Н.д.
$\text{HCO}_3^-$ , мг/л	0	Н.д.
$\text{Cl}^-$ , мг/л	236,4	Н.д.
pH	2,75	2,60
Eh	+565,0	+460,0
Сухой остаток, г/л	4,95	18,2

Примечание: Н.д. – нет данных

мируется химический состав подотвальных вод. Хлоридно-сульфатный магниевый состав подотвальных вод характеризуется общей минерализацией от 2800 до 15400 мг/л. Отмечено содержание (мг/л) кальция до 1503, магния до 290, натрия и калия до 390; pH 1,5–3,4, а также высокое содержание (мг/л) железа (61–1264), цинка (912), меди (18,7–303,7) и кадмия (0,88–1,71) (табл. 1).

Концентрации тяжелых металлов значительно превышают ПДК. В почве района месторождения валовые формы меди, цинка, свинца, кадмия превышают санитарные нормы от 3 до 50 раз. В подотвальных водах содержание в 31–102 выше ПДС, меди в 374–6074 раз, железа в 12–25 раз, кадмия в 1–1,7 раз [8]. Хвосты обогащения минерального сырья (78300 тыс. т.) являются наиболее «проблемным» видом отходов недропользования. Хвосты Учалинского комбината в основном состоят из пирита – 57 %, сфалерита – 1,1 %, халькопирита – 0,8 %, оксидов железа – 2 %, вторичных сульфидов – 0,2 %, нерудных минералов – 38,9 %. В них содержится (%): Fe – 25–30; Cu – 0,2–0,4; Zn – 0,61–0,95; S – 2,25–35; As – 0,1–0,2; Pb – 0,09–0,12; Cd – 0,0029–0,004. Минеральный состав:  $\text{FeS}_2$  – 57 %,  $\text{ZnS}$  – 1,1 %,  $\text{CuFeS}_2$  – 0,8 %, оксиды железа – 2 %, вторичные сульфиды – 0,2 %, нерудные минералы – 38,9 % [9].

## Заключение

В результате комплексных исследований природно-техногенных ландшафтов на Учалинском месторождении проведена оценка негативного воздействия техногенных объектов на окружающую природную среду при освоении крупного месторождения.

Отходы горной отрасли представляют собой техногенные минеральные образования, в которых количество меди, цинка и других элементов сопоставимо с количеством в рудных залежах. На территории исследуемого района отходы горнодобывающих и перерабатывающих предприятий являются основными источниками загрязнения водоемов, воздушного бассейна и прилегающих земель. Отвалы Учалинского месторождения являются источником формирования гидрохимических аномалий в поверхностной и подземной гидросфере. Формирование кислых вод происходит локально, на участках, где складировались породы с сульфидной минерализацией, не обладающие буферной способностью. Установлено, что формирующиеся гидрохимические ресурсы (подотвальные воды, дре-

нажные воды из-под хвостохранилищ, воды технологического водоема и др.) отличаются по химическому составу и значению водородного показателя. Проведенная типизация техногенных водотоков позволила выделить четыре «генетических» типа вод.

Рудничные и подотвальные воды являются главной миграционной средой токсикантов.

### *Литература*

1. Абдрахманов Р.Ф. Геохимия и формирование подземных вод Южного Урала / Р.Ф. Абдрахманов, В.Г. Попов. Уфа: АН РБ, Гилем, 2010. 420 с.
2. Шафигуллина Г.Т. Экология Учалинской геотехнической системы / Г.Т. Шафигуллина, И.Б. Серавкин, В.Н. Удачин. Уфа: Гилем, 2009. 236 с.
3. Шафигуллина Г.Т. Геоэкологические условия процессов техногенеза Учалинской геотехнической системы (Южный Урал). Автореф. дис. ... канд. геол.-мин. наук. М., 2008. 23 с.
4. Пучков В.Н. Формы миграции тяжелых металлов в Учалинской природно-технической системе / В.Н. Пучков, Г.Т. Шафигуллина, И.Б. Серавкин, В.Н. Удачин // Геоэколо-

гия. Инженерная геология. Гидрология. Геокриология. 2008. № 6. С. 506-516.

5. Минеральные ресурсы Учалинского горно-обогатительного комбината / И.Б. Серавкин, П.И. Пирожок, В.Н. Скуратов и др. Уфа: Башк. кн. изд., 1994. 328 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. Абдрахманов Р.Ф. Минеральные лечебные воды Башкортостана. / Р.Ф. Абдрахманов, В.Г. Попов. Уфа: Гилем, 1999. 208 с.

8. Абдрахманов Р.Ф. Гидрогеоэкология Башкортостана. Уфа: Информреклама, 2005. № 344. С. 5.

9. Пучков В.Н. Сульфидсодержащие отвалы и хвостохранилища – опасные техногенные загрязнители окружающей среды горнорудных районов Башкортостана / В.Н. Пучков, Д.Н. Салихов, Р.Ф. Абдрахманов, Г.И. Беликова, Р.М. Хметов, О.А. Захаров, С.В. Ковтуненко // Геоэкология. Инженерная геология. Гидрология. Геокриология. 2007. № 3. С. 238–247.



G.T. Shafigullina, S.P. Nosareva

## NEGATIVE IMPACT OF MINING INDUSTRY ON SOUTHERN URALS HYDROSPHERE

Surface water courses, which are the main sources of water supply for enterprises processing enrichment of Cu-Zn-pyrite ores are subject to the emergence of industrial waters. Geoecological assessment of surface and ground waters within Uchalinsky

massive has been carried out. Four types of industrial waters have been identified within the Uchalinsky field: acid underspoil water, alkaline drainage, alkaline transit-accumulative and accumulative neutral waters. Surface and ground waters are

experiencing anthropogenic load as a result of the industrial water impact.

**Key words:** geological environment, hydrosphere, industrial impact, waste mining industry, underspoil water, industrial water, tailing storage