

УДК 622.012.2:556.3:51

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ЗАТОПЛЕННЫХ МЕДНОКОЛЧЕДАНЫХ РУДНИКОВ НА ВОДНЫЕ ОБЪЕКТЫ СРЕДНЕГО УРАЛА*

© 2014 г. Л.С. Рыбникова^{1,2}, П.А. Рыбников², О.В. Тютков¹

¹ ФГУП «Российский научно-исследовательский институт комплексного использования и охраны водных ресурсов», г. Екатеринбург

² ФГБУН «Институт горного дела Уральского отделения Российской академии наук», г. Екатеринбург

Ключевые слова: водный объект, загрязняющие вещества, качество, затопление, медноколчеданный рудник.



Л.С. Рыбникова



П.А. Рыбников

Выполнен анализ процессов формирования источников загрязнения в районах обрабатываемых и затопленных медноколчеданных рудников Среднего Урала. Дана оценка их влияния на состояние поверхностных водных объектов. Показано, что после завершения обработки месторождений и их мокрой консервации сохраняется высокий уровень загрязнения гидросферы.

Введение

За счет загрязненных шахтных вод формируется самый крупный поток сточных вод на Земле [1]. В связи с массовым закрытием горнодобывающих предприятий в последние десятилетия под шахтными водами следует понимать не только те, что извлекаются попутно при добыче полезного ископаемого и осушении шахт, но и образованные в результате остановки водоотлива и подъема уровня подземных вод, т. е. техногенные водоносные горизонты, водоемы, родники.

* Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 13-05-96038 «Исследование и прогноз динамики техногенной трансформации экосистем в районах функционирования горно-металлургического комплекса Урала» и в рамках проекта 12-М-23457-2041 «Освоение недр Земли: перспективы расширения и комплексного освоения рудной минерально-сырьевой базы горно-металлургического комплекса Урала».

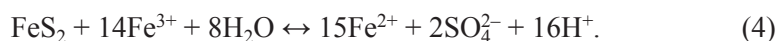
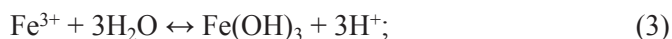
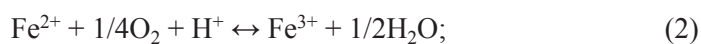
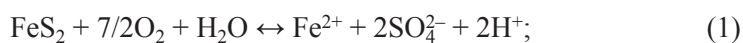
После прекращения водоотлива и затопления шахт происходит заполнение депрессионной воронки, сформированной при отработке рудника, и образование очагов сосредоточенной разгрузки кислых шахтных вод, расход которой составляет примерно 50 % от расхода водоотлива [2].

В общем объеме учтенного сброса загрязняющих веществ на территории Свердловской области около 10 % поступает с шахтными водами затопленных рудников, а затраты на их очистку (порядка 300 тыс. руб. в день) покрываются из областного бюджета [3].

Цель работы – анализ особенностей формирования кислых шахтных вод на этапе отработки и после затопления, характеристика методов их очистки, оценка влияния затопленных медноколчеданных Дегтярского и Левихинского рудников (Свердловская область) на водные объекты Среднего Урала.

Особенности формирования кислых шахтных вод

Формирование кислых шахтных вод при отработке медноколчеданных месторождений связано с растворением сульфидных минералов, находящихся в зоне оруденения, в процессе осушения пород при понижении уровня и насыщении кислородом подземных вод. Окисление сульфидов протекает в соответствии со следующими известными реакциями [4, 5]:



Первые две реакции значительно ускоряются при участии бактерий: после того как pH снижается до 4, основным окислителем становится Fe^{3+} и скорость окисления пирита определяется реакцией (4). Тем не менее именно кислород является необходимым окислителем либо участвуя непосредственно в окислении пирита по реакциям (1) и (2), либо опосредованно через производство Fe^{3+} по реакции (2). Выветривание пирита – активный процесс производства кислоты в природных условиях. В случае, если отсутствуют нейтрализующие породы, pH испаряющихся шахтных вод может достигать чрезвычайно низких значений (вплоть до –3,6) [6]. Поскольку реакция окисления пирита экзотермична, шахтный воздух и вода имеют повышенную температуру, именно с этим связана опасность эндогенных пожаров при отработке медноколчеданных рудников. Для протекания процесса сернокислотного выщелачивания достаточно наличия в породе 1–2 % пирита, доступного для воды и кислорода: чем меньше

Таблица 1. Химический состав шахтных вод Левихинского медноколчеданного месторождения при отработке [7]

Наименование шахт и горизонтов	Сухой остаток г/л	Компоненты, мг/л								
		Na+K	Ca	Mg	Fe	Cu	Zn	Al	SO ₄	Cl
Левиха VII, горизонт 85 м	1,2	–	84	38	86	125	–	–	816	55
Левиха XII, горизонт 145 мI	7,1	–	415	353	546	133	–	294	5 293	34
Левиха XII, горизонт 205 м	24,8	–	384	856	3516	214	–	1805	13 785	202
Левиха XII, горизонт 205 м	36,0	1045	938	735	4688	2548	1177	–	23 411	232

размеры кристаллов и больше поверхность окисления, тем быстрее происходит формирование кислых вод, поэтому нарушение сплошности пород при отработке руды способствует активизации процесса окисления сульфидных минералов. В естественных ненарушенных условиях такие процессы практически не происходят, для их возникновения необходимо изменение окислительно-восстановительных условий, что обычно бывает при осуществлении водоотлива и понижении уровня подземных вод на десятки и сотни метров.

При отработке Левихинского рудника установлена зависимость содержания компонентов как от продолжительности эксплуатации горных выработок, так и от глубины отработки: на глубоких горизонтах наблюдалась наиболее высокая минерализация шахтных вод (до 32–36 мг/л) и содержание всех определяемых компонентов (табл. 1).

На этапе постмайнинга состав шахтных вод по сравнению с периодом отработки изменяется: формируются более минерализованные воды, содержание большинства микрокомпонентов и редкоземельных элементов также возрастает, но при этом уменьшается содержание меди (табл. 2). Интересно отметить, что значительно различается химический состав подземных вод, находящихся в затопленных шахтах и в техногенном водоеме. Можно предположить, что пробы воды, отобранные из шахтных стволов после затопления рудника, не в полной мере отражают состав подземных вод в районе шахтного поля, возможно, вследствие гравитационной дифференциации – более минерализованные воды могут находиться на больших глубинах. Но основной причиной, приводящей к таким различиям, является то, что участки сосредоточенной разгрузки шахтных вод приурочены к зонам обрушения, в пределах которых в результате геомеханических процессов формируются новые свойства массива горных пород.

На медноколчеданных рудниках Среднего Урала при подземной добыче, как правило, используются технологии отработки с обрушением кровли выработанного пространства, что приводит к образованию провалов глубиной до 15–35 м, зон обрушения и сдвига площади в десятки

Таблица 2. Характеристика качественного состава шахтных вод медноколчеданных рудников на этапе отработки и после затопления

Показатели	Левихинский рудник					Дегтярский рудник	
	отработка*	затопление				отработка****	затопление*****
		2008 г.**		2013 г.***			
		водоем	шахта XIV	водоем	шахта XIV		
рН	2,79	3,81	3,7	3,88	4,0	2,50	2,70
Сухой остаток, мг/л	11 600	39 053	550	22 240	650	8536	10 343
SO ⁴⁺ , мг/л	5978	25 672	228	11 896	343	5574	5916
Mg ²⁺ , мг/л	340	1876	22	909	31	200	409
Cu ²⁺ , мг/л	154	62	2	11	4	77	10
Zn ²⁺ , мг/л	317	1755	6	487	18	260	116
Fe _{общ} , мг/л	730	4112	0,1	2424	1,4	551	995
Mn ²⁺ , мг/л	47	663	2	118	3,1	21	40
Ni ²⁺ , мг/л	0,23	0,93	0,02	0,49	0,03	0,09	0,40
Co ²⁺ , мг/л	0,17	7,30	0,05	1,79	0,06	0,07	0,30
Cd ²⁺ , мг/л	0,79	2,10	0,02	0,50	0,08	0,59	0,12

Примечание: * – по данным ОАО «Унипромедь», 1990 г.; ** – [8]; *** – по данным ООО «Экология»; **** – [9]; ***** – [10].

и сотни гектаров. Здесь развивается техногенная трещиноватость и, как следствие, увеличивается проницаемость и емкость массива, инфильтрационное питание возрастает в несколько раз, вплоть до полного поглощения атмосферных осадков [11]. Эти факторы способствуют более интенсивному проникновению инфильтрационных вод в нарушенную зону. В зоне окисления основные минералы колчеданных месторождений (пирит, халькопирит, сфалерит, марказит) неустойчивы, это приводит к формированию и накоплению в техногенной зоне аэрации водорастворимых вторичных минералов [1] или неосульфатов [12], в том числе в открытых горных выработках, в зоне обрушения. Основными из них являются минералы, содержащие железо (такие как ярозит $KFe_3[SO_4]_2(OH)_6$, кокимбит $Fe_2[SO_4]_3 \cdot 9H_2O$), а также семиводные сульфаты, аналогичные мелантериту, но с переменным соотношением четырех главных металлов – железа, меди, цинка, магния: это собственно мелантерит ($Fe[SO_4] \cdot 7H_2O$), бутит ($Cu[SO_4] \cdot 7H_2O$), госларит ($Zn[SO_4] \cdot 7H_2O$), эпсомит ($Mg[SO_4] \cdot 7H_2O$). Именно растворение неосульфатов является причиной формирования кислых шахтных вод с большим количеством железа и невысоким содержа-

нием меди после прекращения рудничного водоотлива и подъема уровня подземных вод.

После затопления отмечается существенно нестационарный гидрохимический режим: в первые годы происходит резкий рост содержания большинства компонентов (для Левихинского рудника это примерно 5-кратное увеличение), затем начинается постепенное снижение показателей, которое может продолжаться десятки лет [1]. Так, на затопленном в 2003 г. Левихинском руднике содержание большинства показателей химического состава до настоящего времени (через 10 лет после прекращения водоотлива) в 2–3 раза выше, чем в период водоотлива (см. табл. 2).

Перечисленные процессы значительно осложняют прогноз качества шахтных вод после завершения отработки и выбор методов их очистки.

Методы очистки шахтных вод

Для борьбы с кислыми шахтными водами, как правило, применяются активные, или химические, методы, хотя использование пассивных методов, основанных на процессах самоочистки, значительно дешевле, поэтому они активно развиваются в последние годы [1, 13]. Для полноценного применения пассивных методов главной задачей является радикальное снижение объемов очищаемой воды, что не всегда может быть реализовано. Кроме того, если при использовании химических методов очистки можно проконтролировать расход воды, ее рН и в зависимости от этого рассчитывать необходимое количество химических реагентов, то проконтролировать микробиологическую деятельность, увеличить солнечную активность, уменьшить скорость движения воды практически невозможно. Обычно для снижения рН шахтных вод и уменьшения растворимости загрязняющих веществ (в первую очередь тяжелых металлов) используют негашеную известь, гидроксид натрия (каустическую соду) или известняк. Таким образом, формируются нерастворимые или плохо растворимые осадки, для их осаждения используются различные конструкции осветлительных прудов, такие как пруд-отстойник, пластинчатый (чешуйчатый) отстойник, осветлитель с радиальным потоком. Полученный осадок высушивается и в зависимости от токсичности может размещаться в выработанном пространстве или на специальных полигонах [1].

На Среднем Урале до середины 1950-х гг. кислые шахтные воды (рН = 2 ÷ 3) обрабатываемых медноколчеданных рудников сбрасывались в близлежащие реки, ручьи или болота, выжигая растительность, которая во многих местах не восстановилась до сих пор. На отдельных рудниках (Дегтярский, Карабашский, Левихинский) в период 1939–1985 гг. была организована частичная очистка шахтных вод от содержащейся в них меди

путем пропуска воды через железный скрап. По этой технологии на рудниках Уральского региона из шахтных вод было извлечено около 60 тыс. т меди – это порядка 1,5 тыс. т в год [14, 15]. Однако при таком способе очистки не снижается содержание цинка и других токсичных металлов, таких как кадмий, селен, теллур, мышьяк и др.

Позднее для очистки кислых шахтных вод стал использоваться метод нейтрализации, основанный на обработке рудничных и подотвальных вод известковым молоком. Это приводит к осаждению тяжелых металлов, в первую очередь меди, цинка, кадмия, в виде их нерастворимых гидроксидов и основных карбонатов. Лучшее осаждение происходит при $\text{pH} = 8\text{--}9$, при повышении pH может начаться растворение осадка. После отстаивания в специальных прудах нейтрализованная осветленная вода сбрасывалась в поверхностные водные объекты. Реализация этого метода обезвреживания стоков требует значительного количества извести, например, на действующем Учалинском ГОКе используется около 30 т в сутки [15]; столько же требуется сегодня для нейтрализации шахтных вод остановленного Левихинского рудника, учитывая, что при отработке рудника использовалось почти в 10 раз меньше извести [16]. В результате образуется несколько сот тысяч тонн в год шлама, что обуславливает необходимость устройства шламонакопителей большого объема.

Несмотря на отмеченные недостатки, нейтрализация кислых вод известковым молоком (или известковым раствором) как у нас в стране, так и за рубежом, является наиболее распространенным методом очистки больших объемов сточных вод. В 2001 г., когда принципиально решалась проблема нейтрализации сточных шахтных вод Левихинского рудника, проводились консультации со специалистами из Голландии, однако предложенные ими методы либо не подходят по климатическим условиям (например, с использованием бактерий), либо оказались слишком дорогостоящими.

Оценка влияния затопленного Левихинского рудника на водные объекты

Отработка Левихинского рудника в период 1927–2003 гг. шла открытым (до глубины 70 м) и подземным (до глубины 618 м системами с поэтажным обрушением) способами. До конца 1950-х гг. водоотлив осуществлялся через шахты с последующим сбросом в болото, расположенное на северо-западе месторождения. В 1959 г. в низовьях р. Левихи (приток р. Тагил, бассейн р. Туры, Иртышский бассейновый округ) был создан осветлительный пруд, предназначенный для отстаивания выносимых с шахтными водами взвесей. В настоящее время площадь пруда 142 га, объем 2 млн м³.

После остановки шахтного водоотлива, в конце 2003 г., подземные горные выработки были полностью затоплены и к концу 2006 г. в наиболее низ-

кой точке местности в районе шахтного ствола Левиха II (зона обрушения от горизонта 175 м) образовался техногенный водоем глубиной примерно 50 м, в который разгружаются шахтные воды с расходом около 120 м³/ч (при отработке среднегодовалый расход водоотлива составлял порядка 200 м³/ч). По трубопроводу длиной около 2 км шахтные воды перекачиваются из техногенного водоема на станцию нейтрализации, расход перекачки изменяется от 30 до 150 м³/ч. На станцию нейтрализации также подаются подотвальные воды, которые собираются на рудном поле. После обработки известковым молоком эти воды поступают в осветлительный пруд, где в процессе отстаивания происходит выпадение гидроксидов тяжелых металлов. При перетекании в сбросной канал вода дополнительно нейтрализуется известью, а затем самотеком по старому руслу р. Левихи попадает в р. Тагил (долина р. Тагил находится в 4 км к востоку от рудника). При движении нейтрализованных вод к р. Тагил происходит частичное осаждение образующейся при нейтрализации взвеси, русло р. Левихи размыто, а вода имеет мутно-бурую окраску.

Состав шахтных вод (в среднегодовом разрезе) после затопления Левихинского рудника отличается от сформированного при водоотливе, особенно резко выросло содержание марганца (в 6,3 раза – от 47 до 298 мг/л), железа (в 4,5 раза – от 730 до 3273 мг/л), цинка (в 3,2 раза – от 317 до 1015 мг/л). Сточные воды, поступающие в р. Тагил, также стали более загрязненными: по марганцу в 12 раз (от 3,8 до 46 мг/л), железу в 11 (от 7,1 до 78 мг/л), цинку в 6 раз (от 17 до 105 мг/л). Соответственно, степень загрязнения р. Тагил ниже сброса после затопления также увеличилась: по железу в 6,4 раза (от 0,7 до 4,3 мг/л), по цинку в 3 раза (от 0,65 до 1,97 мг/л) (табл. 3, 5).

В последние годы превышение предельно-допустимых концентраций для водоемов рыбохозяйственного значения ($ПДК_{рх}$) в р. Тагил ниже сброса сточных вод отмечается для цинка ($K_{ПДК} = 197$), меди ($K_{ПДК} = 130$), марганца ($K_{ПДК} = 102$), железа ($K_{ПДК} = 43$): коэффициент концентрации по $ПДК_{рх}$ – кратность превышения $ПДК_{рх}$. Необходимо отметить, что выше сброса вода р. Тагил также (как и ранее) не соответствует $ПДК_{рх}$ по ряду показателей, в частности, по меди ($K_{ПДК} = 20$), марганцу ($K_{ПДК} = 19$), цинку ($K_{ПДК} = 7$), железу ($K_{ПДК} = 5$), при этом после сброса сточных вод содержание тяжелых металлов в воде реки увеличивается в 5–29 раз, сульфатов в 2,5 раза (табл. 4, 5).

Если на этапе отработки после сброса очищенных дренажных вод основным загрязняющим компонентом в реке была медь, то в настоящее время степень загрязнения поверхностных вод медью уменьшилась почти в три раза: от 0,37 мг/л ($K_{ПДК} = 370$) до 0,13 мг/л ($K_{ПДК} = 130$), что объясняется существенным снижением содержания меди в шахтных (от 154 до 23 мг/л) и сточных (от 7,2 до 1,9 мг/л) водах (см. табл. 3, 4).

Таблица 3. Характеристика шахтных, сточных и поверхностных вод в районе Левихинского рудника в период отработки и после затопления (среднегодовое значение)

Компоненты	ПДК _{гр} *	Фон**	Шахтные воды (технологичный водоём)		Сточные воды (сбор с пруда-отстойника)		Поверхностные воды р. Тагил				
			отработка***	затопление****	отработка***	затопление****	выше сброса		ниже сброса		
								отработка***	затопление****	отработка***	затопление****
рН	6,0–9,0	7,1	2,8	4,0	6,9	5,9	7,1	7,2	7,2	7,2	7,1
Сухой остаток, мг/л	1000	180	11 600	32 617	2336	5546	394	371	334	418	418
Сульфаты, мг/л	100	28,4	5978	15 955	1200	2591	68	56	114	142	142
Хлор, мг/л	300	3,6	н.с.	0	29	23	31	25	29	24	24
Медь, мг/л	0,001	0,028	154	23	7,2	1,9	0,02	0,02	0,37	0,13	0,13
Цинк, мг/л	0,01	0,044	317	1015	17,1	104,8	0,07	0,07	0,65	1,97	1,97
Железо, мг/л	0,1	0,32	730	3273	7,1	77,9	0,55	0,53	0,67	4,28	4,28
Марганец, мг/л	0,01	0,074	47	298	3,8	46	0,42	0,19	0,85	1,02	1,02
Мышьяк, мг/л	0,05	0,0008	0,1	< п.о	0,05	0,004	0,04	0,001	0,04	0,001	0,001
Кадмий, мг/л	0,005	н.с.	0,8	0,5	н.с.	н.с.	н.с.	н.с.	н.с.	н.с.	н.с.

Примечание: * – ПДК для водных объектов рыбохозяйственного значения [17]; ** – р. Шайтанка выше разлива шахтных вод, левобережный приток р. Тагил, по данным ООО «Экология»; *** – по данным ОАО «Унипромедь», 1990 г.; **** – по данным ООО «Экология»; н.с. – нет сведений, < п.о – ниже погрешности определения.

Таблица 4. Кратность превышения ПДК для водных объектов рыбохозяйственного значения в шахтных, сточных и поверхностных водах в районе Левихинского рудника в период отработки и после затопления

Компоненты	Шахтные воды (техногенный водоем)		Сточные воды (сброс с пруда-отстойника)		Поверхностные воды р. Тагил			
	отработка	затопление	отработка	затопление	выше сброса		ниже сброса	
					отработка	затопление	отработка	затопление
Сухой остаток	12	33	4	6	0,4	0,4		0,4
Сульфаты	60	160	12	26	0,7	0,6	1,1	1,4
Медь	154 000	23 000	7200	1900	20	20	370	130
Цинк	31 700	101 500	1710	10 480	7	7	65	197
Железо	7300	32 730	71	779	5,5	5,3	6,7	42,8
Марганец	4700	29 800	380	4600	42	19	85	102
Мышьяк	2	< по	1	0,08	0,8	0,02	0,8	0,02
Кадмий	160	100	н.с.	н.с.	н.с.	н.с.	н.с.	н.с.

Примечание: выделены компоненты с наиболее высокими показателями.

Таблица 5. Характеристика степени изменения шахтных, сточных и поверхностных вод после затопления Левихинского рудника

Компоненты	Шахтные воды (техногенный водоем)	Сточные воды (сброс с пруда-отстойника)	Поверхностные воды р. Тагил		
	$K_{з/о}$	$K_{з/о}$	$K_{з/о}$	отработка	затопление
				$K_{н/в}$	$K_{н/в}$
Сухой остаток	2,8	2,4	1,3	0,8	1,1
Сульфаты	2,7	2,2	1,2	1,7	2,5
Медь	0,1	0,3	0,4	18,5	6,5
Цинк	3,2	6,1	3,0	9,3	28,7
Железо	4,5	11,0	6,4	1,2	8,1
Марганец	6,3	12,1	1,2	2,0	5,4
Мышьяк	0,0	0,1	0,03	1,0	1,0
Кадмий	0,6	н.с.	н.с.	н.с.	н.с.

Примечание: $K_{з/о}$ – коэффициент концентрации на этапе затопления, отношение содержания компонента после затопления ($C_з$) к его значению при отработке ($C_о$), $K_{з/о} = C_з/C_о$; $K_{н/в}$ – коэффициент концентрации по влиянию сброса, отношение содержания компонента ниже сброса сточных вод ($C_н$) к его значению выше сброса ($C_в$), $K_{н/в} = C_н/C_в$. Выделены компоненты с наиболее значительными изменениями.

При этом следует отметить, что как на этапе отработки, так и после затопления перечень основных загрязняющих веществ в р. Тагил представлен идентичными компонентами, однако изменяется их значимость в загрязнении поверхностных вод: при отработке это медь ($K_{\text{ПДК}} = 370$), марганец ($K_{\text{ПДК}} = 85$), цинк ($K_{\text{ПДК}} = 65$), железо ($K_{\text{ПДК}} = 7$); после затопления – цинк ($K_{\text{ПДК}} = 197$), медь ($K_{\text{ПДК}} = 130$), марганец ($K_{\text{ПДК}} = 102$), железо ($K_{\text{ПДК}} = 43$).

В целом степень загрязнения вод р. Тагил тяжелыми металлами после затопления увеличилась в 3,5 раза (см. табл. 5). Учитывая нестационарный характер формирования загрязняющих компонентов в шахтных водах и тенденцию к снижению их содержания (см. табл. 2), можно ожидать улучшения состояния поверхностных вод в районе Левихинского рудника. Однако даже после достижения предполагаемых предельных значений показателей химического состава шахтных вод их очистка без включения в существующую схему дополнительных элементов не будет оптимальной, а уровень загрязнения р. Тагил останется достаточно высоким.

Оценка влияния на водные объекты затопленного Дегтярского рудника

Шахтный водоотлив на Дегтярском медноколчеданном руднике был прекращен в 1995 г. после 80 лет эксплуатации (глубина отработки 600 м). С октября 1998 г., через 34 месяца после прекращения водоотлива, началось затопление карьера шахты Колчеданной. В период работы шахт сброс шахтных вод проводился в русло р. Дегтярки (приток р. Исток). После затопления гидродинамическая ситуация изменилась, зона разгрузки сформировалась в бассейне р. Исток (приток р. Ельчевки, бассейн р. Чусовой, Камский бассейновый округ). В настоящее время шахтные воды дренируются карьером шахты Колчеданной, воды кислые с рН 2–3, с минерализацией около 10 г/л, содержанием сульфатов около 6 г/л, высокой концентрацией меди (10 мг/л), цинка (116 мг/л), железа (995 мг/л), марганца (40 мг/л) (табл. 6). По сравнению с периодом отработки в настоящее время в зоне сосредоточенной разгрузки шахтных вод содержание компонентов стало в 1,5–2 раза выше, кроме меди, как и на Левихинском руднике, ее количество в воде уменьшилось в 8 раз (см. табл. 2). Кроме зоны сосредоточенной разгрузки в районе шахты Колчеданной (расход 180 м³/ч, при отработке 250 м³/ч) кислые шахтные воды разгружаются в провале на западном склоне горы Лабаз и в виде газифицирующего родника в восточной части шахты Колчеданной [10]. Состав воды в газифицирующем роднике весьма специфичный: при рН = 5,2 минерализация 25 г/л, содержание сульфатов около 15 г/л, а содержание большинства компонентов в 2–3 раза выше, чем в основной зоне разгрузки (кроме меди, концентрация которой в три раза ниже и составляет 3,4 мг/л) (см. табл. 6).

Таблица 6. Характеристика шахтных и сточных вод в районе Дебятарского рудника после затопления

Компоненты	ПДК _{рп} *	ПДК _{хлв} **	Фон***	Шахтные воды****			Сточные воды****		
				затопленный карьер шахты Колчеданная	газирующий родник в восточной части шахты Колчеданная	затопленный провал на западном склоне горы Лабаз	р. Исток ниже станции нейтрализации	р. Дебятарка – пункт нейтрализации	сброс с Ельчевского пруда-отстойника
рН	6,0–9,0	6,0–9,0	7,19	2,8	5,2	2,7	2,6	3,9	7,5
Сухой остаток, мг/л	1000	1000	149	10 343	25 386	3068	4032	704	1300
Сульфаты, мг/л	100	500	16,9	5916	14 467	2201	2064	397	826
Хлор, мг/л	300	350	11	52	49	21	57	37	32
Медь, мг/л	0,001	1	0,03	10	3,4	1,7	3,9	3,5	0,01
Цинк, мг/л	0,01	5	0,03	116	292	2,5	3,8	7,7	0,2
Железо, мг/л	0,1	0,3	0,2	995	4724	215	517	41	0,03
Марганец, мг/л	0,01	0,1	0,11	40	158	8	13,6	1,9	0,2
Мышьяк, мг/л	0,05	0,05	0,005	0,005	0,005	н.с.	0,005	0,007	0,005
Кадмий, мг/л	0,005	0,001	0,0001	0,12	1,50	0,015	0,032	0,021	0,0008

Примечание: * – ПДК для водных объектов рыбохозяйственного значения [17]; ** – ПДК для централизованных систем питьевого водоснабжения [18]; *** – р. Исток выше излива шахтных вод [10]; **** – [10]; н.с. – нет сведений.

Шахтные воды поступают в р. Исток, где нейтрализуются известковым молоком, которое подается по трубопроводу от станции нейтрализации. Весь сток нейтрализованных вод с территории месторождения направляется по реке к Ельчевскому пруду-отстойнику (построен в 1952 г., в настоящее время объем 9,4 млн м³, площадь 220 га).

Нейтрализация воды известковым молоком и отстаивание в пруду приводят к росту рН (от 2,8 до 7,5), снижению минерализации (в 8 раз, от 10 до 1,3 г/л), сульфатов (в 18 раз, от 14,8 до 0,8 г/л), существенному уменьшению содержания основных компонентов-загрязнителей: железа в 33 тыс. раз (от 995 до 0,03 мг/л), меди в 1000 раз (от 10 до 0,01 мг/л), цинка в 580 (от 116 до 0,2 мг/л), марганца в 200 раз (от 40 до 0,2 мг/л). Тем не менее значения сухого остатка, содержание сульфат-иона и концентрации ряда компонентов в ходе нейтрализации и осветления в Ельчевском пруду-отстойнике не доводятся до питьевых кондиций (коэффициент концентрации по ПДК для централизованного питьевого водоснабжения для сухого остатка $K_{ПДК} = 1,3$; для сульфат-иона $K_{ПДК} = 1,7$; для марганца $K_{ПДК} = 2$) и до требований водоемов рыбохозяйственного значения (коэффициент концентрации по ПДК для водоемов рыбохозяйственного значения для сухого остатка $K_{ПДК} = 1,3$; для сульфат-иона $K_{ПДК} = 8$; для меди $K_{ПДК} = 10$; для марганца $K_{ПДК} = 20$; для цинка $K_{ПДК} = 20$) (табл. 6, 7).

Таблица 7. Кратность превышения ПДК для водных объектов рыбохозяйственного значения в шахтных и сточных водах в районе Дегтярского рудника после затопления

Компоненты	Шахтные воды			Сточные воды		
	затопленный карьер шахты Колчеданная	газирующий родник в восточной части шахты Колчеданная	затопленный провал на западном склоне горы Лабаз	р. Исток ниже станции нейтрализации	р. Дегтярка – пункт нейтрализации	сброс с Ельчевского пруда-отстойника
Сухой остаток	10	25	3,1	4,0	0,7	1,3
Сульфаты	59	148	22	21	4	8
Медь	10 000	3400	1700	3900	3500	10
Цинк	11 600	29 200	250	380	770	20
Железо	9950	47 240	2150	5168	405	0,30
Марганец	4000	15 800	800	1360	190	20
Мышьяк	0,10	0,10	н.с.	0,10	0,14	0,10
Кадмий	24	300	3	6,4	4,2	0,16

При этом весь сток нейтрализованных вод с территории отработанного Дегтярского месторождения направляется по р. Исток к Ельчевскому пруду-отстойнику и далее в Волчихинское водохранилище, которое является самым крупным источником питьевого водоснабжения Свердловской области и основным для г. Екатеринбурга.

Выводы

Шахтные воды отработанных медноколчеданных рудников в первые годы после затопления характеризуются более высокой минерализацией, содержание тяжелых металлов (кроме меди) и редкоземельных элементов также возрастает в несколько раз, соответственно, степень загрязнения водных объектов в старопромышленных горнодобывающих районах Среднего Урала после прекращения добычи не уменьшается.

Для снижения экологической нагрузки на гидросферу и предотвращения залповых поступлений неочищенных кислых вод в водотоки шахтные воды медноколчеданных рудников обрабатываются на станциях нейтрализации и отстаиваются в прудах-накопителях. Существующие методы очистки сточных вод недостаточно эффективны: после обработки и отстаивания значительное количество металлов осаждается, их содержание уменьшается, тем не менее часть этих веществ попадает в поверхностные водные объекты в превышающих ПДК концентрациях.

Степень загрязнения вод р. Тагил тяжелыми металлами после затопления Левихинского рудника увеличилась в 3,5 раза. Несмотря на тенденцию к значительному снижению содержания загрязняющих веществ в шахтных водах, их очистка без реорганизации системы не будет эффективной, а уровень загрязнения р. Тагил останется достаточно высоким.

Очищенные сточные воды затопленного Дегтярского рудника поступают в Волчихинское водохранилище – основной источник питьевого водоснабжения г. Екатеринбурга. Несмотря на значительное снижение минерализация, содержание сульфат-иона и концентрации ряда компонентов (цинка, марганца, меди) не доводятся до питьевых кондиций и не соответствуют требованиям, предъявляемым к водным объектам рыбохозяйственного значения.

Заметного снижения содержания тяжелых металлов можно добиться при устройстве каскада осветлительных прудов [1], поэтому целесообразно создание еще одного пруда-отстойника ниже существующих, в котором после нейтрализации будет происходить доосаждение тяжелых металлов и улучшение качественного состава сточных вод.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Wolkersdorfer Christian*. Water management at abandoned flooded underground mines. Fundamentals. Tracer tests. Modelling. Water treatment. Springer. 2008. 465 p.
2. Рыбникова Л.С., Рыбников П.А. Влияние экологического ущерба, накопленного от горнодобывающей деятельности, на состояние гидросферы Среднего Урала // Водное хозяйство России. 2013. № 6. С. 110–118.
3. Государственный доклад «О состоянии и об охране окружающей среды Свердловской области в 2012 году». Екатеринбург: ООО «Издательство УМЦ УПИ», 2013. 350 с.
4. Лехов А.В. Физико-химическая гидрогеодинамика: учебник. М.: КДУ, 2010. 500 с.
5. *Apello C.A.J., Postma D.* Geochemistry, groundwater and pollution. 2-nd edition. Rotterdam, Balkema. 2005. 635 p.
6. *Nordstrom D. Kirk*. Hydrogeochemical processes governing the origin, transport and fate of major and trace elements from mine wastes and mineralized rock to surface waters // Applied Geochemistry. 2011. No. 26. P. 1777–1791.
7. Гидрогеология СССР. Т. XIV. Урал. Уральское территориальное геологическое управление / под ред. В.Ф. Прейса. М.: Недра, 1972. 648 с.
8. *Фельдман А.Л.* Программа мониторинга состояния окружающей среды (атмосфера, недра, водные объекты, почва, биоресурсы) Левихинского рудника на территории Кировградского ГО. Екатеринбург: ООО «ПАНЭКС», 2008. 99 с.
9. *Грязнов О.Н., Палкин С.В., Новиков В.П., Вострокнутов А.Г., Катаев А.М.* Дренажные воды – источник техногенного гидроминерального сырья на Урале // Изв. вузов. Горный журнал. 1997. № 11–12. С. 56–66.
10. *Вишняк А.И.* Мониторинг геологической среды Дегтярского медноколчеданного месторождения (за 2003–2004 гг.). Екатеринбург: Уралнедра, 2005. 217 с.
11. *Рыбникова Л.С., Рыбников П.А.* Геофильтрационная модель массива горных пород в области влияния обрабатываемых и ликвидируемых рудников горноскладчатого Урала // Литосфера. 2013. № 3. С. 130–136.
12. *Емлин Э.Ф.* Техногенез колчеданных месторождений Урала. Свердловск: Изд-во УрГУ, 1991. 256 с.
13. *Антонинова Н.Ю., Шубина Л.А.* Экологическая реабилитация экосистем в районах функционирования горнометаллургических комплексов // Изв. вузов. Горный журнал. 2013. № 8. С. 64–68.
14. *Зотеев В.Г., Зотеев О.В., Корнилков С.В.* Перспектива извлечения цветных металлов, выносимых на поверхность рудничными водами на отработанных месторождениях // Комбинированная геотехнология: Развитие физико-химических способов добычи: труды по материалам междунар. конф. Магнитогорск: МГТУ, 2009. С. 76–81.
15. *Никонов В.Н., Белан Л.Н., Яруллина И.Н.* Промышленные стоки горно-обогатительных комбинатов Башкирского Зауралья как экологическая проблема и гидроминеральное сырье цветных металлов // Ресурсовоспроизводящие, малоотходные и природоохранные технологии освоения недр: материалы XIII междунар. конф. (Москва (Россия) – Грузия (Тбилиси) 15–21 сентября 2014 г.) / под ред. А.Е. Воробьева, Т.Н. Чекушиной. М.: РУДН, 2014. С. 35–37.
16. *Козин В.З., Колтунов А.В., Морозов Ю.П., Осинцев В.А., Русский В.В., Перестронин И.Н., Тюрина Г.Л.* Совершенствование технологии нейтрализации шахтных вод Левихинского рудника // Изв. вузов. Горный журнал. 1997. № 11–12. С. 211–214.
17. Нормативы качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормативы ПДК вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения.

М.: Изд-во ВНИРО, 2011. 257 с. Утв. Приказом Федерального агентства по рыболовству от 18.01.2010 г., приказ № 20.

18. СанПиН 2.1.4.1074–01. Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества. Введ. 01.01.2002, зарег. в Минюсте России 31.10.2001, рег. № 3011.

Сведения об авторах:

Рыбникова Людмила Сергеевна, канд. геол.-минерал. наук, заведующая сектором гидрогеологических исследований, ФГУП «Российский научно-исследовательский институт комплексного использования и охраны водных ресурсов» (ФГУП РосНИИВХ), 620049, г. Екатеринбург, ул. Мира, 23; старший научный сотрудник, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Институт горного дела Уральского отделения Российской академии наук», Россия, 620219, г. Екатеринбург, ул. Мамина-Сибиряка, 58; e-mail: luserib@mail.ru

Рыбников Петр Андреевич, канд. геол.-минерал. наук, старший научный сотрудник, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Институт горного дела Уральского отделения Российской академии наук», Россия, 620219, г. Екатеринбург, ул. Мамина-Сибиряка, 58; e-mail: ribnikoff@yandex.ru

Тютков Олег Владимирович, д-р экон. наук, главный специалист, ФГУП «Российский научно-исследовательский институт комплексного использования и охраны водных ресурсов» (ФГУП РосНИИВХ), Россия, 620049, г. Екатеринбург, ул. Мира, 23