

УДК 622.012.2:556.3:51

ЭКОЛОГО-ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ШАХТНЫХ ВОД НА ПРИМЕРЕ ЗАТОПЛЕННЫХ МЕДНОКОЛЧЕДАНЫХ РУДНИКОВ УРАЛА*

© 2016 г. Л.С. Рыбникова^{1,2}, П.А. Рыбников¹¹ ФГБУН «Институт горного дела Уральского отделения Российской академии наук», г. Екатеринбург, Россия² ФГБУ «Российский научно-исследовательский институт комплексного использования и охраны водных ресурсов», г. Екатеринбург, Россия

Ключевые слова: шахтные воды, водоотлив, затопленные медноколчеданные рудники, гидроминеральное сырье, техногенные ресурсы, окисление сульфидов, растворимые сульфаты, цветные металлы, редкоземельные элементы, экологический ущерб, загрязнение гидросферы, сточные воды, извлекаемая ценность, Средний Урал.



Л.С. Рыбникова П.А. Рыбников

Отработанные медноколчеданные рудники являются одним из существенных источников загрязнения гидросферы. Выполнен анализ составляющих экологического ущерба, причиненного поверхностным водным объектам вследствие сброса очищенных шахтных вод. Экологический ущерб водным объектам от сброса сточных вод Левихинского и Дегтярского рудников как при отработке рудников, так и после их ликвидации оценивается в 100–200 млн руб. в год, величина предотвращенного экологического ущерба на порядок больше.

Определен вклад в структуру экологического ущерба отдельных компонентов: при отработке основным загрязняющим веществом являлась медь, после прекращения водоотлива – цинк. Установлено, что шахтные воды являются обеспеченным возобновляемым источником цветных металлов и редкоземельных элементов и могут рассматриваться как месторождения гидроминерального сырья. Оценено промышленное содержание цветных металлов и редкоземельных

* Работа выполнена в рамках проекта 15-11-2345-27 «Освоение недр Земли: разработка комплексных методов оценки и технологической подготовки к глубокой переработке титаносодержащих руд для развития минерально-сырьевой базы горно-металлургического комплекса Урала».

элементов в шахтных водах затопленных медноколчеданных рудников. Суммарная извлекаемая ценность цветных металлов и редкоземельных элементов из шахтных вод Левихинского рудника превышает 4 млн долларов США в год. Основная доля приходится на редкоземельные элементы. Показано, что потенциальная извлекаемая ценность компонентов превышает затраты на обеспечение ежегодной нейтрализации кислых шахтных вод и величину экологического ущерба от сброса очищенных шахтных вод.

ВВЕДЕНИЕ

Промышленный потенциал Уральского региона уже несколько столетий базируется на минерально-сырьевых ресурсах. В связи с истощением запасов многих месторождений все большее значение получают ресурсы техногенного происхождения – техногенно-минеральные образования. В их составе обнаруживается большое количество цветных, редких и редкоземельных элементов, что стимулирует переработку техногенных отходов. Так, например, Уральская горно-металлургическая компания производит из них около 80–90 т/год селена, в т. ч. 4–5 т/год на Кыштымском медеплавильном комбинате [1].

Специфическим видом таких ресурсов являются шахтные воды, которые благодаря наличию в их составе большого количества цветных, редких и редкоземельных элементов могут рассматриваться как потенциальные месторождения гидроминерального сырья. В последние десятилетия в связи с массовым закрытием горнодобывающих предприятий под шахтными водами следует понимать не только те, которые извлекаются попутно при добыче полезного ископаемого и осушении шахт, но и образованные в результате останковки водоотлива и подъема уровня подземных вод, а именно – техногенные водоносные горизонты, водоемы, родники и водотоки.

В Свердловской области в настоящее время при добыче полезных ископаемых осуществляется водоотведение в поверхностные водные объекты 219,40 млн м³/год загрязненных дренажных вод (23 % от суммарного водоотведения). С шахтными и дренажными водами в поверхностные водотоки ежегодно поступает 116,4 тыс. т загрязняющих веществ (24 % от общего сброса). При этом значительное количество поллютантов (22,7 тыс. т при объеме сброса 7,95 млн м³/год) связано с рудниками, эксплуатация которых завершена 10 и более лет назад [2].

В Свердловской области поступление платы за негативное воздействие на окружающую среду за 2014 г. составило 944,5 млн руб., в т. ч. на водные объекты – 239,8 млн руб. Затраты на охрану окружающей среды уменьши-

лись к уровню 2013 г. на 20,4 % и составили 11,23 млрд руб., из них на очистку различного вида сточных вод направлено 5,6 млрд руб.

Поскольку в ближайшие годы планируется совершенствование порядка расчета и взимания платы за негативное воздействие на водные объекты [3, 4], оценка безопасности освоения природных месторождений и техногенно-минеральных образований должна включать определение размера экологического ущерба (вреда), что позволит определить эффективные методы очистки сточных дренажных вод, разработать мероприятия для предотвращения попадания в водный объект загрязняющих веществ и отходов с водосборной площади, простимулирует внедрение технологии извлечения ценных компонентов из сточных вод.

Целью работы является оценка и анализ составляющих величин ущерба, причиненного водным объектам вследствие сброса очищенных шахтных вод на этапе отработки рудника и после его ликвидации, выявление компонентов, концентрации которых в шахтных водах превышают промышленные содержания, и определение их потенциальной извлекаемой ценности, обоснование целесообразности использования шахтных вод как источника гидроминерального сырья, сопоставление потенциальной ценности шахтных вод и ущерба от загрязнения водных объектов.

ШАХТНЫЕ ВОДЫ КАК ИСТОЧНИК ГИДРОМИНЕРАЛЬНОГО СЫРЬЯ

Вопросы изучения и использования гидроминерального сырья активно разрабатываются в нашей стране с начала 1980-х гг., когда было принято постановление «О состоянии и расширении научно-исследовательских и геологоразведочных работ на гидроминеральное сырье» [5].

До середины 1950-х гг. кислые шахтные воды ($\text{pH} = 2\div 3$) обрабатываемых медноколчеданных рудников сбрасывались в близлежащие реки, ручьи или болота, уничтожая растительность, которая полностью не восстановилась до сих пор. На Дегтярском, Карабашском, Левихинском рудниках была организована частичная очистка шахтных вод от содержащейся в них меди путем пропуска их через железный скраб. По этой технологии на рудниках Уральского региона из шахтных вод было извлечено около 60 тыс. т меди [6]. Однако при таком способе очистки шахтных вод не извлекается цинк и такие токсичные металлы как кадмий, селен, теллур, мышьяк и др., содержание которых в шахтных водах на медноцинковых колчеданных месторождениях весьма значительно.

При отработке рудников наблюдалась некоторая вариация содержания цветных и редкоземельных компонентов во времени, что в сочетании с изменением расходов дренажа приводило к разбросу суммарной величины выноса металлов: за год масса меди и цинка варьировала в пределах 800–

2500 т. Тем не менее, установлено, что шахтные воды являются обеспеченным возобновляемым источником цветных металлов и редкоземельных элементов (табл. 1).

Таблица 1. Среднегодовые показатели количества и качества вод шахтного водоотлива рудников Минцветмета СССР (по данным [6, 7] с дополнениями)

Рудник	Объем воды, тыс. м ³	рН	Компоненты			Компоненты		
			Cu ²⁺	Zn ²⁺	Fe _{общ}	Cu ²⁺	Zn ²⁺	Fe _{общ}
			Промышленное содержание, мг/л*					
			50	50	100	Годовое количество выносимого металла, т		
			Содержание в шахтных водах, мг/л					
Им. III Интернационала	1267	4	35	45	50	44	57	63
Красногвардейский	613	2,5	50	100	1000	31	61	613
Левихинский	2186	2,8	154	317	730	247	510	1177
Ломовский и Ново-Ежовский	949	2,9	86	141	559	82	134	530
Белореченский	712	2,8	10	30	50	7	21	36
Карпушинский	175	2,8	100	150	500	18	26	88
Ковеллиновый	124	2,8	100	150	500	12	19	62
Дегтярский	3212	2,5	77	447	989	171	988	2183
Гумешевский	1898	6,2	50	50	100	95	95	190
Карабашский	2055	2,5	95	145	860	195	298	1767
Блявинский	438	2,8	320	200	1250	140	88	548
Гайский	1670	3,8	128	170	860	214	284	1436
Бурибай, Октябрьский	610	3,5	18	53,3	37,5	11	33	23
Всего	15 909					1267	2614	8716

Примечание: * – по [5]; максимальные значения выделены полужирным шрифтом.

После прекращения эксплуатации и затопления шахт происходит заполнение сформированной при отработке рудника депрессионной воронки и образование очагов сосредоточенной разгрузки, расход которой составляет примерно 50 % от расхода водоотлива [8]. После затопления суммарный вынос соединений металлов, в т. ч. и редкоземельных, продолжается на высоком уровне (табл. 2).

Химический состав шахтных вод в пределах затопленных рудников формируется в зоне, нарушенной горными работами. Здесь за годы водоотлива (в течение десятков лет отработки рудников под защитой дренажа) в депрессионной воронке глубиной несколько сотен метров образовалась техногенная сернокислотная кора выветривания, обогащенная хорошо растворимыми сульфатами. Их растворение приводит к образованию более минерализованных по сравнению с шахтным водоотливом вод, особенно на начальном этапе затопления [9]. Содержание большей части микрокомпонентов, в частности, цинка марганца (2+), железа (общ) и редкоземельных элементов (РЗЭ) также возрастает. Единственным исключением является медь (2+), содержание которой уменьшается в 3–5 раз и уже не достигает (как при отработке) промышленного содержания (табл. 3, 4).

Таблица 2. Величина среднегодового суммарного выноса ионов металлов шахтными водами Левихинского и Дегтярского рудников, т/год

Период	Компоненты								
	SO ₄ ²⁺	Cu ²⁺	Zn ²⁺	Fe _{общ}	Mn ²⁺	Ni ²⁺	Co ²⁺	Cd ²⁺	РЗЭ
Левихинский рудник*									
Отработка	9623	247	510	1177	76	0,37	0,27	1,27	9,8
Затопление***	22 489	54	1537	3602	581	0,81	6,39	1,84	17,0
Затопление****	10 421	9	427	2123	103	0,43	1,57	0,44	7,8
Дегтярский рудник**									
Отработка	12 305	171	988	2183	47	нс	нс	нс	2,0
Затопление****	9328	16	183	1569	63	нс	нс	0,2	нс

Примечание: * – отработывался в период с 1927 по 2003 гг.; ** – отработывался с 1914 по 1994 гг.; *** – начальный этап (через 1 год после остановки водоотлива); **** – через 10 лет после остановки водоотлива; нс – нет сведений.

Таблица 3. Содержание компонентов в шахтных водах Левихинского и Дегтярского рудников

Период	рН	Компоненты							
		Cu ²⁺	Zn ²⁺	Fe _{общ}	Mn ²⁺	Ni ²⁺	Co ²⁺	Cd ²⁺	РЗЭ
		Промышленное содержание, мг/л***							
		50	50	100	10	1	0,1	1	0,5
Содержание в шахтных водах, мг/л									
Левихинский рудник									
Отработка	2,8	154	317	730	47	0,23	0,17	0,79	6,1
Затопление*	4,0	62	1755	4112	663	0,93	7,3	2,1	19,4
Затопление**	3,9	11	487	2424	118	0,49	1,79	0,5	8,9
Дегтярский рудник									
Отработка	2,5	77	447	989	21	нс	нс	нс	0,9
Затопление**	2,7	10	116	995	40	нс	нс	0,12	нс

Примечание: * – начальный этап (через 1 год после остановки водоотлива); ** – через 10 лет после остановки водоотлива; *** – по [5]; нс – нет сведений.

Таблица 4. Коэффициент концентрации по величине промышленного содержания компонентов в шахтных водах Левихинского и Дегтярского рудников, $K_{пс}$

Период	Коэффициент концентрации по компонентам							
	Cu ²⁺	Zn ²⁺	Fe _{общ}	Mn ²⁺	Ni ²⁺	Co ²⁺	Cd ²⁺	РЗЭ
Левихинский рудник								
Отработка	3,1	6,3	7,3	4,7	0,2	1,7	0,8	12,2
Затопление*	1,2	35,1	41,1	66,3	0,9	73	2,1	38,8
Затопление**	0,2	9,7	24,2	11,8	0,5	17,9	0,5	17,8
Дегтярский рудник								
Отработка	1,5	8,9	9,9	2,1	нс	нс	нс	1,8
Затопление**	0,2	2,3	10	4	нс	нс	0,1	нс

Примечание: * – начальный этап (через 1 год после остановки водоотлива); ** через 10 лет после остановки водоотлива; нс – нет сведений; $K_{пс}^i$ – коэффициент концентрации по величине промышленного содержания i -го компонента в шахтной воде, $K_{пс}^i = C^i / C_{пс}^i$, – фактическое содержание i -го компонента в шахтной воде, C^i – промышленное содержание i -го компонента [5].

Концентрации РЗЭ в шахтных водах затопленного Левихинского рудника в десятки раз превышают промышленные содержания (табл. 5). По запасам сырья в земной коре РЗЭ по суммарной распространенности значительно превосходят запасы ряда металлов: свинца – в 10 раз, молибдена – в 50, вольфрама – в 165, золота – в 200 раз. По запасам редкоземельных элементов Россия занимает второе место в мире, при этом их добыча не превышает 2 % от мирового уровня, а ведущая роль (97 %) принадлежит Китаю [1]. К 2020 г. Россия рассчитывает полностью отказаться от импорта редкоземельных металлов.

Таблица 5. Коэффициент концентрации по величине промышленного содержания редкоземельных элементов в шахтных водах Левихинского рудника после затопления

Элемент			Коэффициент концентрации	
Символ	Атомный номер	Имя	1 год после остановки водоотлива	10 лет после остановки водоотлива
Y	39	Иттрий	58,6	33,7
La	57	Лантан	14,7	5,0
Ce	58	Церий	26,8	10,3
Pr	59	Празеодим	34,9	17,1
Nd	60	Неодим	46,4	21,6
Sm	61	Самарий	51,8	25,3
Eu	62	Европий	38,3	16,1
Gd	63	Гадолиний	65,7	27,1
Tb	64	Тербий	39,6	17,9
Dy	65	Диспрозий	115,0	50,0
Ho	66	Гольмий	68,9	29,9
Er	68	Эрбий	80,0	38,5
Tm	69	Тулий	29,5	13,3
Yb	70	Иттербий	62,2	29,2
Lu	71	Лютеций	17,6	8,3
Среднее			38,8	17,8

Примечание: Sc (скандий) находится в концентрациях ниже предела обнаружения.

ШАХТНЫЕ ВОДЫ КАК ИСТОЧНИК ЗАГРЯЗНЕНИЯ ГИДРОСФЕРЫ

Для снижения экологической нагрузки на гидросферу и предотвращения залповых поступлений неочищенных кислых вод в водотоки шахтные воды обрабатываются на станции нейтрализации, отстаиваются в прудах-накопителях, при перетекании в сбросной канал вода дополнительно нейтрализуется известью. После обработки и отстаивания значительное количество металлов осаждается, тем не менее, часть этих веществ попадает в реки в концентрациях, значительно выше ПДК, что приводит к существенному загрязнению гидросферы.

Так, после затопления Левихинского рудника (бассейн р. Туры, Иртышский бассейновый округ) наиболее существенное увеличение среднегодовых показателей в р. Тагил ниже сброса сточных вод отмечается для цинка (2+) (коэффициент концентрации по ПДК для водоемов рыбохозяйственного значения $K_{\text{ПДК}}$ от 65 до 355), железа (общ) ($K_{\text{ПДК}}$ от 7 до 43), сульфат-ионов ($K_{\text{ПДК}}$ от 0,7 до 1,4). При этом в связи с более низкими концентрациями меди (2+) в шахтных водах техногенного водоема (по сравнению с периодом обработки) концентрации ее в водах р. Тагил ниже сброса водоотлива уменьшились ($K_{\text{ПДК}}$ от 17 до 13) [8]. В целом после сброса очищенных шахтных вод содержание тяжелых металлов в воде реки увеличивается в 5–29 раз, сульфатов в 2,5 раза. Такое положение объясняется не только повышенным содержанием этих компонентов в шахтных водах затопленного рудника. Немаловажное значение имеют такие факторы, как несовершенство очистки и вторичное загрязнение сточных вод осадками, накопленными в шламоотстойном пруду за десятилетия его эксплуатации.

После затопления шахт Дегтярского рудника (бассейн р. Чусовой, Камский бассейновый округ) катастрофического ухудшения качества воды в Ельчевском пруду-отстойнике на р. Исток не произошло: нейтрализация воды водоотлива известковым молоком приводит к существенному снижению содержания основных загрязняющих компонентов. Однако концентрация солей (сухой остаток), 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 хозяйственно-питьевого водоснабжения для сухого остатка $K_{\text{ПДК}}=1,3$; сульфата $K_{\text{ПДК}}=1,7$; марганца (2+) $K_{\text{ПДК}}=2$) и до требований водоемов рыбохозяйственного значения (коэффициент концентрации по ПДК для сухого остатка $K_{\text{ПДК}}=1,3$; сульфата $K_{\text{ПДК}}=8$; меди (2+) $K_{\text{ПДК}}=10$; марганца (2+) $K_{\text{ПДК}}=20$) [8]. При этом весь сток нейтрализованных вод с территории обработанного Дегтярского месторождения направляется по р. Исток к Ельчевскому пруду-отстойнику и далее в Волчихинское водохранилище – основной источник питьевого водоснабжения г. Екатеринбурга.

СОПОСТАВЛЕНИЕ ПОТЕНЦИАЛЬНОЙ ЦЕННОСТИ ШАХТНЫХ ВОД И УЩЕРБА ОТ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ

Для извлечения металлов из многокомпонентных продуктивных растворов могут применяться различные методы: гальванокоагуляционный, флотационный, сорбционный [10]. Например, при использовании ионно-обменных смол типа АМп, АМП, АМ-25, АВ-17-8 селективность извлечения по большинству компонентов составляет около 50 % (для меди, железа, лантаноидов), для некоторых достигает 100 % (цинк, серебро, кадмий, селен и др.) [11].

Суммарная извлекаемая ценность цветных металлов и РЗЭ из шахтных вод Левихинского рудника в начальный период после его затопления превышала 10 млн долл. США, в последующие годы она сохраняется на уровне около 4 млн долларов. Основная доля приходится на редкоземельные элементы (табл. 6).

Таблица 6. Ранжированный ряд по извлекаемой ценности цветных металлов и РЗЭ из шахтных вод Левихинского рудника (тыс. долл /год)

Элемент	Извлекаемая ценность после остановки водоотлива		Элемент	Извлекаемая ценность после остановки водоотлива	
	через 1 год	через 10 лет		через 1 год	через 10 лет
Zn ²⁺	3212	891	Pr	144	70
Dy	2015	876	Sm	124	61
Eu	1511	636	Co ²⁺	182	45
Y	557	320	Er	82	39
Tb	625	283	Lu	66	31
Nd	605	282	Yb	64	30
Gd	230	95	Ho	54	24
Ce	220	84	La	55	18
Cu ²⁺	407	71	Ni ²⁺	14	8
Итого				10 166	3865
В т. ч. РЗЭ				6352	2850
В т. ч. цветных				3815	1015

Примечание: для расчета использованы: по цветным металлам – данные Лондонской биржи металлов, сентябрь 2012 – август 2014 гг. [12]; по редкоземельным элементам – анализ динамики цен на РЗМ [13].

Под ущербом от загрязнения водной среды и водного фонда территорий понимаются материальные и финансовые потери и убытки (прямые и косвенные) вследствие ухудшения потребительских свойств воды как природного ресурса, дополнительные затраты на ликвидацию последствий загрязнения вод и восстановление их качества [14, 15]. Предотвращенный экологический ущерб от загрязнения окружающей природной среды представляет оценку в денежной форме возможных отрицательных последствий, которых удалось избежать (предотвратить, не допустить) в результате природоохранной деятельности. Эколого-экономическая оценка ущерба водным ресурсам (как и окружающей природной среде в целом) заключается в определении фактических и возможных материальных и финансовых потерь и убытков от изменения качественных и количественных параметров окружающей природной среды.

Для расчета вреда используются два подхода. Первый основан на компенсационном принципе его оценки, исходя из фактических затрат на восстановление нарушенного состояния водного объекта с учетом понесенных убытков в соответствии с проектами рекультивационных и иных восстановительных работ. Второй является расчетным и применяется независимо от того, проводятся мероприятия по устранению нарушения и его последствий непосредственно вслед за фактом нарушения или будут проводиться в дальнейшем в соответствии с программами по использованию, восстановлению и охране водных объектов, а также программами социально-экономического развития регионов [14, 15].

Величина экологического ущерба водным объектам от сброса сточных вод Левихинского и Дегтярского рудников составляет 100–200 млн руб. в год, как при отработке рудника, так и после его затопления (табл. 7). При этом величина предотвращенного экологического ущерба в десятки раз больше (табл. 8). Особенно значимо снижение экологического ущерба в результате очистки загрязненных шахтных вод при отработке рудника и в первые годы после его затопления: предотвращенный ущерб составил около 2,5 млрд руб. В последние годы в связи с некоторым снижением содержания большинства загрязняющих веществ в шахтных водах предотвращенный ущерб также снизился, но по-прежнему составляет в среднем 0,5 млрд руб. В зависимости от этапа освоения месторождения изменяется состав компонентов, вносящих основной вклад в экологический ущерб: при отработке это медь (2+) – 65 %, после затопления цинк (2+) – 57 %. Соответственно, основное внимание при планировании экологической деятельности должно быть направлено на снижение содержания цинка в сбрасываемых после очистки сточных водах. Предотвращенный ущерб также наиболее значим при очистке от цинка (2+), кроме того, значительно снижается ущерб от загрязнения железом (общ) и марганцем (2+).

Таблица 7. Ущерб водным объектам при сбросе очищенных шахтных вод в районе Левихинского рудника в период отработки и после затопления

Компоненты	Такса, тыс. руб/т*	Ущерб, тыс. руб/год		
		отработка (в современных ценах)	1 год после остановки водоотлива	10 лет после остановки водоотлива
Сульфаты	0,014	124	169	218
Медь	1377,4	105 930	11 413	6561
Цинк	137,7	29 131	77 910	64 925
Железо	13,8	305	4169	6356
Марганец	137,7	59 799	25 970	34 854
Всего		195 289	119 632	112 915

Примечание: * – по [16]; максимальные значения выделены полужирным шрифтом.

Таблица 8. Предотвращенный ущерб водным объектам при сбросе очищенных шахтных вод в районе Левихинского рудника в период отработки и после затопления

Компоненты	Такса, тыс. руб/т	Предотвращенный ущерб, тыс. руб/год		
		отработка (в современных ценах)	1 год после остановки водоотлива	10 лет после остановки водоотлива
Сульфаты	0,014	740	9	736
Медь	1377,4	2 086 715	507 988	107 844
Цинк	137,7	422 211	1 121 492	224 162
Железо	13,8	103 640	307 493	148 655
Марганец	137,7	7119	647 882	48 523
Всего		2 620 425	2 584 863	529 919

Примечание. * – по [16]; максимальные значения выделены полужирным шрифтом.

На очистку кислых шахтных вод затопленных рудников ежегодно выделяется около 100 млн руб. из областного бюджета [17], эти затраты по сравнению с оцененными величинами предотвращенного экологического ущерба, безусловно, могут рассматриваться как обоснованные. Для сни-

жения сложившегося в настоящее время уровня загрязнения гидросферы необходимо совершенствование существующей системы нейтрализации кислых шахтных вод [8]. Кроме того, поскольку продолжительность существования такого источника загрязнения исчисляется десятилетиями [18, 19], целесообразно использовать шахтные воды в качестве источника гидроминерального сырья. Это потенциально может не только компенсировать затраты на нейтрализацию кислых шахтных вод и принести дополнительный доход, но и значительно снизить содержание вредных веществ в сточных водах.

ВЫВОДЫ

Шахтные воды затопленных медноколчеданных рудников могут рассматриваться как возобновляемые месторождения гидроминерального сырья. Однако до настоящего времени извлечение из них полезных компонентов не организовано, методы очистки сточных вод неэффективны, соответственно, экологическая нагрузка на гидросферу в старопромышленных горнодобывающих районах Среднего Урала после прекращения добычи не снижается.

Извлекаемая потенциальная ценность цветных металлов и редкоземельных элементов, присутствующих в шахтных водах затопленных медноколчеданных рудников, превосходит затраты на обеспечение ежегодной нейтрализации кислых шахтных вод, поступающих в бассейны рек Тагил и Чусовая из шламонакопителей недействующих рудников на территории Кировградского городского округа и городского округа Дегтярск, она также больше, чем величина экологического ущерба от сброса очищенных шахтных вод.

Извлечение цветных металлов и редкоземельных элементов из шахтных вод позволит не только снизить экологическую нагрузку на гидросферу, но и в значительной мере компенсировать затраты на нейтрализацию кислых шахтных вод.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Романова О.А. «Ресурсный национализм» в условиях реиндустриализации отечественной экономики / Тр. конгресса с междунар. участием и элементами школы молодых ученых «Фундаментальные исследования и прикладные разработки процессов переработки и утилизации техногенных образований». Екатеринбург: УрО РАН, 2014. С. 124–128.
2. Государственный доклад «О состоянии и об охране окружающей среды Свердловской области в 2014 году». ООО «Издательство УМЦ УПИ». 335 с.
3. Мерзликина Ю.Б., Прохорова Н.Б. Платежи за сброс загрязняющих веществ как инструмент регулирования деятельности по охране водных объектов от

- негативного воздействия производственно-хозяйственных комплексов // Водное хозяйство России. 2013. № 6. С.74–86.
4. *Костылева Н.В., Микишева В.И., Сорокина Т.В.* Экологический ущерб: вопросы, вопросы... / Геогр. вестник. 2010. № 1. Режим доступа: <http://cyberleninka.ru/article/n/ekologicheskiiy-uscherb-voprosy-voprosy#ixzz3Wc8NbrJO>.
 5. Методические рекомендации по изучению и оценке попутных вод месторождений полезных ископаемых в целях их использования в качестве гидроминерального сырья. М.: ВСЕГИНГЕО, 1985. 97 с.
 6. *Зотеев В.Г., Зотеев О.В., Корнилков С.В.* Перспектива извлечения цветных металлов, выносимых на поверхность рудничными водами на отработанных месторождениях // Тр. междунар. конф. «Комбинированная геотехнология: развитие физико-химических способов добычи». Магнитогорск: МГТУ, 2009. С. 76–81.
 7. *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.
 8. *Рыбникова Л.С., Рыбников П.А., Тютков О.В.* Оценка влияния затопленных медноколчеданных рудников на водные объекты Среднего Урала // Водное хозяйство России. 2014. № 6. С.77–91.
 9. *Рыбникова Л.С., Рыбников П.А.* Гидрогеохимия техногенных процессов разрабатываемых и ликвидированных медноколчеданных месторождений Среднего Урала // Мат-лы 2-й всеросс. конф. с междунар. участием «Геологическая эволюция взаимодействия воды с горными породами», г. Владивосток, 2015. С. 503–507.
 10. *Шадрунова И.В., Орехова Н.Н.* Извлечение цветных металлов из гидроминеральных ресурсов: теория и практика. М.: Изд-во ИПКОН РАН, 2009. 215 с.
 11. *Радченко Д.Н., Матюшенко Г.А., Илимбетов А.Ф.* Исследование технологии извлечения ионов металлов из многокомпонентных продуктивных растворов выщелачивания отходов обогащения медноколчеданных руд // Тр. междунар. конф. «Комбинированная геотехнология: развитие физико-химических способов добычи». Магнитогорск: МГТУ. 2009. С. 108–116.
 12. Данные Лондонской биржи металлов, сентябрь 2012 – август 2014 гг. Режим доступа: <http://www.lme.com>.
 13. Анализ динамики цен на редкоземельные элементы. Режим доступа: <http://tdm96.ru/?p=829>.
 14. Временная методика определения предотвращенного экологического ущерба. Утв. Госкомэкологией России, 9 марта 1999 г. Режим доступа: http://www.lawrussia.ru/bigtexts/law_3441/index.htm.
 15. Методика исчисления размера вреда, причиненного водным объектам вследствие нарушения водного законодательства. Утв. приказом Минприроды России от 13 апреля 2009 г. № 87, зарег. в Минюсте РФ 25 мая 2009 г., рег. № 13989.
 16. О нормативах платы за выбросы в атмосферный воздух загрязняющих веществ стационарными и передвижными источниками, сбросы загрязняющих

- веществ в поверхностные и подземные водные объекты, размещение отходов производства и потребления. Постановление Правительства РФ от 12 июня 2003 г. № 344 (с изменениями на 24 декабря 2014 года). Режим доступа: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_42740/
17. Областная целевая программа «Экология и природные ресурсы Свердловской области» на 2009–2015 годы (в ред. Постановления Правительства Свердловской области от 15.06.2012 № 667-ПП). Режим доступа: <http://minfin.midural.ru/uploads/document/730/ppso-ot-21072008g--736-pp-red-ot-15062012g.doc>.
 18. Антонинова Н.Ю., Шубина Л.А. Экологическая реабилитация экосистем в районах функционирования горнометаллургических комплексов. // Изв. ВУЗов. Горный журнал. 2013. №8. С. 64–68.
 19. *Wolkersdorfer C.* Water management at abandoned flooded underground mines. Fundamentals. Tracer tests. Modelling. Water treatment. Springer. 2008. 465 p.

Сведения об авторах:

Рыбникова Людмила Сергеевна, канд. геол.-минерал. наук, заведующая сектором гидрогеологических исследований, ФГБУ «Российский научно-исследовательский институт комплексного использования и охраны водных ресурсов», 620049, г. Екатеринбург, ул. Мира, 23; старший научный сотрудник, ФГБУН «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, ФГБУН «Институт горного дела Уральского отделения Российской академии наук», Россия, 620219, г. Екатеринбург, ул. Мамина-Сибиряка, 58; e-mail: ribnikoff@yandex.ru