ГИАБ. Горный информационно-аналитический бюллетень /
MIAB. Mining Informational and Analytical Bulletin, 2021;(5—2):202—217
ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ / ORIGINAL PAPER

УДК 502.57:34/35 DOI: 10.25018/0236_1493_2021_52_0_202

НАКОПЛЕННЫЙ ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ ВРЕД ТЕРРИТОРИЙ РАЗМЕЩЕНИЯ ГОРНОПРОМЫШЛЕННЫХ ОТХОДОВ ПРОШЛЫХ ЛЕТ

В. Б. Болтыров[1], Л. А. Стороженко[1], М. А. Сапсай[1]

[1] Уральский государственный горный университет, Екатеринбург, Россия

Аннотация: Значительный экологический вред территорий размещения горнопромышленных отходов (ГПО) прошлых лет обусловлен тем, что горные предприятия не занимались вопросами рекультивации, а длительное нахождение отвалов — отходов добычи рудных месторождений, особенно сульфидсодержащих, в условиях атмосферного воздействия приводит к их прогрессивному разрушению: химическому и органическому выветриванию, дефляции, ветровой и водной эрозии. Рудная минерализация при этом превращается в разнообразные поллютанты, которые попадают в подотвальные воды и, разрушая почвы и уничтожая растительность, превращают территории размещения ГПО и их окрестности в техногенные пустоши. Экологическая ситуация на территории Лёвихинского рудника, деятельность которого в 2003 г. по экономическим причинам была приостановлена, становится с каждым годом всё более критической. Это обусловлено не только наличием многотоннажных сульфидсодержащих отходов добычи, являющихся источниками поллютантов, но и крайне негативным воздействием кислых шахтных вод (КШВ), образовавших после самозатопления горных выработок рудника кислотные водоемы. Сегодня КШВ очищаются известковым молоком на станции нейтрализации, дополнительно нейтрализуются известью в сборном канале, тем не менее, какое-то количество токсикантов попадает в р. Тагил в концентрациях, значительно превышающих ПДК для водоемов рыбохозяйственного значения. Предлагается начать процедуру подготовки территории рудника для включения в Государственный реестр объектов накопленного экологического вреда, а также внедрить плазмотермическую технологию очистки КШВ, разработанную проф. Б. Б. Зобниным и позволяющую не только очищение КШВ от различных вредных по санитарно-токсикологическому признаку химических компонентов и их сброс на рельеф без известкования, но и использование их в качестве гидроминерального сырья и получение товарной продукции в виде цинковых порошков.

Ключевые слова: колчеданные руды, рудник, шахтные воды, экологический вред, загрязнение, обеззараживание, плазмотермическая технология.

Для цитирования: *Болтыров В. Б., Стороженко Л. А., Сапсай М. А.* Накопленный экологический вред территорий размещения горнопромышленных отходов прошлых лет // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2021. — № 5—2. — С. 202—217. DOI: 10.25018/0236_1493_2021_52_0_202.

© В. Б. Болтыров, Л. А. Стороженко, М. А. Сапсай. 2021

Cumulative ecological impact in the territory of long-term disposal of old mining waste

V. B. Boltyrov[1], L. A. Storozhenko[1], M. A. Sapsay[1]

[1] Ural State Mining University, Ekaterinburg, Russia

Abstract: The large-scale ecological impact in the territory of long-term disposal of old mining waste is a result of neglected reclamation activities by mining companies. In the meanwhile, the long-term storage and disposal of mining waste, especially with sulfide content, exposed to atmospheric effects causes their progressive decay: chemical and organic decomposition, deflation and water erosion. The mineral content converts into various pollutants which get into underspoil water and damage soil and vegetation, and turn the territories of mining waste storage into manmade barren areas. The ecological situation in the territory of Levikha mining project suspended in 2003 for economic reasons is becoming more and more critical every year. This is conditioned by millions of tons of sulfide-containing dumps, which are sources of pollutants, and by the impact of acid mine water after self-flooding of the mine. Today, acid mine waters are purified using milk of lime at a neutralization station and then are additionally neutralized with lime in a collecting canal. Nevertheless, some amount of toxicants enters the Tagil River while their concentrations significantly exceed the maximum permissible standard for fishery water bodies. The article proposes to start the procedure of preparing the territory of the mine for inclusion in the State Register of Accumulated Environmental Damage Objects, as well as to introduce the plasma–thermal technology for purifying acid mine water, developed by Prof. B. B. Zobnin. The technology allows removal of environmentally hazardous elements from acid mine water which becomes not only suitable for discharge on ground surface without liming, but also usable as hydromineral raw material and source for commercial-scale production of zinc powders.

Key words: pyrite ores, mine, mine water, environmental damage, pollution, decontamination, plasma–thermal technology.

For citation: Boltyrov V. B., Storozhenko L. A., Sapsay M. A. Cumulative ecological impact in the territory of long-term disposal of old mining waste. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2021;(5–2):202–217. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236_1493_2021_52_0_202.

Введение

С 2014 по 2025 гг. в России действует Федеральная целевая программа «Ликвидация накопленного экологического ущерба», которая на стартовом этапе выявила пока только 340 объектов накопленного экологического ущерба [1]. Среди пилотных проектов по ликвидации прошлого экологического вреда нет ни одного уральского объекта прошлой горнодобывающей деятельности, хотя таковых на Урале за 300 лет добычи полезных ископаемых накопилось огромное количество. Особенно сильный экологический вред наносят окружающей среде горнопромышленные отходы (ГПО) прошлых лет, когда горные предприятия практически не занимались вопросами рекультивации нарушенных земель. Длительное нахождение на поверхности ГПО любых месторождений, особенно сульфидсодержащих, в условиях атмосферного воздействия приводит к разрушению ГПО, потере ценных компонентов и инфляции их запасов. В результате ГПО превращаются в источник постоянного негативного воздействия на окружающую среду, ликвидация накопленного экологиче-

ского вреда которых потребует значительных материальных ресурсов. Так, за полвека нахождения на поверхности с отвалов Аллареченского месторождения медно-никелевых руд (Мурманская область) за их пределы мигрировала пятая часть запасов никеля. При этом экономический ущерб составил более 600 млн руб., а экологический ущерб — порядка 3,5 млрд руб. [2]. Таких заброшенных техногенных объектов, как отвалы Аллареченского месторождения, в старых горнопромышленных районах России (Урал, Алтай, Кольский полуостров, Забайкалье и др.) тысячи. Особую экологическую опасность для окружающей среды представляют отработанные и затопленные медные рудники, находящиеся на стадии мокрой консервации. К таким на Среднем Урале относятся, например, Дегтярский и Лёвихинский рудники. Величина экологического ущерба только водным объектам территории Лёвихинского рудника, по данным Л. С. Рыбниковой, составляет 120 млн руб. в год [3].

Лёвихинский рудник, находящийся в Кировградском округе Свердловской области, в последние годы постоянно был в центре внимания надзорных органов и общественности. Блогеры считают, что Лёвихинский рудник снискал славу «кровоточащей раны», изливающейся кислотой и отравляющей вокруг все живое. Уральские отделения Росприроднадзора, Россельхознадзора и Генеральной прокуратуры призывают областные власти принять срочные меры по консервации рудника и дальнейшей рекультивации, но, как считают специалисты Министерства природных ресурсов и экологии Свердловской области, ситуация с изливом кислых шахтных вод (КШВ) не столь критична и находится под контролем. До середины 1950-х гг. КШВ Лёвихинского рудника просто сбрасывались на поверхность в близлежащее Пороховое болото, а позднее и по настоящее время шахтные воды очищаются известковым молоком на станции нейтрализации. В 2020 г. специалистами Института горного дела УрО РАН начались работы по оценке гидроэкологического состояния окружающей среды на Левихинском руднике, будет сделан прогноз состояния подземных и поверхностных вод территории рудника [4].

Цель работы — проанализировать геоэкологическое состояние твердых техногенных компонентов окружающей среды территории Лёвихинского рудника, прежде всего, отвалов добычи, и наметить программу инвентаризации и комплексной оценки накопленного экологического вреда территории рудника.

Задачи исследования на полевой сезон 2021 г:

1) проведение геоэкологического картирования с опробованием;

2) разбраковка отвалов по степени их разрушения и опасности для окружающей среды;

3) инвентаризация отвалов как твердых горнопромышленных отходов.

Объект исследования

Лёвихинская группа месторождений находится в пределах Тагильской зеленокаменной полосы и представляет крупный рудоносный район протяженностью 3,5 км, состоящий из 14 месторождений. Лёвихинские месторождения сложены 800 рудными телами медистых и серных колчеданов и медистых и цинковистых вкрапленных руд, сгруппированных в ряд самостоятельных месторождений: Лёвиха I, Лёвиха II, Лёвиха III ... , Лёвиха XIV. Из этого количества месторождений отработано около 100 рудных тел; руды являются

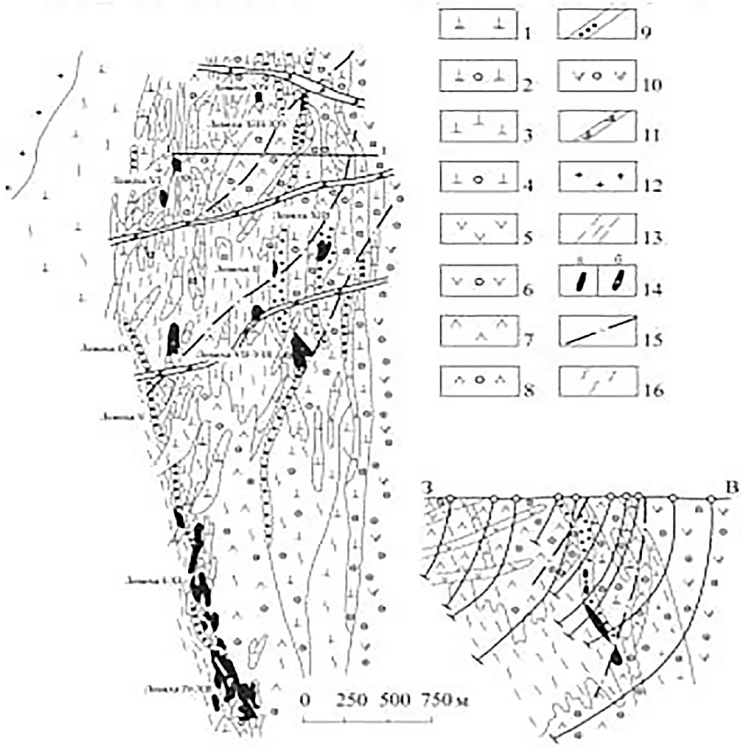

Рис. Левихинское рудное поле
Fig. 1. Levikha ore field

комплексными, содержащими кроме меди и цинка, селен, теллур, индий, галлий, кадмий, германий, мышьяк и другие химические элементы.

Многочисленные, в основном, незначительные по размерам, линзовидные рудные тела образовались в результате метаморфогенно-метасоматических процессов при завершении ордовик-силурийского тектоно-магматического цикла. На раннем этапе в условиях растяжения сформировались вулканиты базальт-липаритовой формации. На следующем этапе в результате сжатия проявились процессы низкотемпературного зеленокаменного метаморфизма, а на завершающем этапе в условиях надвиго-сдвиговых дислокаций образовались зоны смятия и произошли метасоматические изменения (окварцевание, хлоритизация, серицитизация и сульфидизация). Таким образом, и околорудноизменные породы, и сульфидное медное и медно-цинковое оруденение представляют собой разные формы проявления метаморфогенно-метасоматических изменений. Приуроченность рудных тел к меридионально вытянутым зонам смятия в последующем обусловило образование линейных кор выветривания с бурожелезняковыми шляпами, обогащенными золотом (до 2,8 г/т) и серебром (до 436 г/т). На рисунке показана геологическая ситуация Лёвихинского рудного поля [5].

С 1997 г. Лёвихинский рудник находился в глубоком экономическом кризисе, объёмы добычи сокращались, а долги предприятия росли. В 2003 г.

добыча руды была полностью прекращена, шахты поставлены на мокрую консервацию. С 2003 г. по 2005 г. происходило самозатопление Лёвихинского рудника. К моменту закрытия рудника глубина отработки составила 618 м при восьми рабочих горизонтах.

Разведанные запасы медно-цинковых руд до глубины 750 м составляют около 4000 млн т. Это количество руды обеспечило бы работу рудника ещё на 25 — 30 лет. Сейчас, по оценкам специалистов, восстановление рабочего состояния шахт практически невозможно, остается лишь производить нейтрализацию кислых шахтных и подотвальных вод.

После затопления рудника кислые шахтные воды начали подниматься на поверхность, в связи с чем возникла угроза загрязнения прилегающей территории и открытых водоемов токсичными шахтными и подотвальными водами. Сегодня КШВ нейтрализуются известковым молоком на станции нейтрализации и сбрасываются в пруд-отстойник, который уже переполнен. При смешивании КШВ с известью растворенные вещества вступают в реакцию и затем выпадают в осадок в виде нерастворимых солей в пруде-отстойнике. Кислотность шахтных вод снижается, а часть металлов остается на дне. Как считают специалисты, степень очистки КШВ Лёвихинского рудника достаточно высокая и достигает 94 % для железа и меди [6]. Тем не менее, КШВ, сбрасываемые в р. Тагил, имеют значительные превышения ПДК и более высокие содержания компонентов, чем в период отработки месторождений: по марганцу — в 12 раз (от 3,8 до 46 мг/л), по железу — в 11 раз (от 7,1 до 78 мг/л), по цинку — в 6 раз (от 17 до 105 мг/л). В целом степень загрязнения вод р. Тагил тяжелыми металлами после затопления Лёвихинского рудника увеличилась в 3,5 раза, особенно по железу (от 0,7 до 4,3 мг/л) и цинку (от 0,65 до 1,97 мг/л) [3,7].

В 2019 г. магистрантом гр. ЗЧСмз–17 А. В. Карповым, работавшим над магистерской диссертацией по теме: «Оценка экологической ситуации на территории выведенного из эксплуатации горнодобывающего комплекса», в соответствии с требованиями ГОСТ 31861 — 2012 «Вода. Общее требование к отбору проб», ПНД Ф 12.15.1 — 08 «Методические указания по отбору проб для анализа сточных вод» были взяты пробы воды из р. Тагил:

1 проба (код пробы 57,569513°N, 59,97898°E) — 500 м выше по течению реки Тагил;

2 проба (код пробы 57,57895°N, 59,978347°E) — 500 м ниже сброса по течению реки Тагил;

3 проба (код пробы 57,575274°N, 59,977476°E) была взята на самом устье реки Левихи (точка сброса реки Левиха).

Исследования воды произведены по следующим показателям: водородный показатель, прозрачность, запах, цветность, массовая концентрация взвешенных веществ, массовая концентрация сухого остатка, бихроматная окисляемость (ХПК), биохимическое потребление кислорода ($ПБК_5$), железо общее, медь, цинк, марганец. Как видно из табл. 1, концентрация вредных тяжелых металлов в устье реки Левиха превышает ПДК для водоемов рыбохозяйственного значения: взвешенные вещества в 434 раза (ПДК — 0,25), железо в 11 раз (ПДК — 0,1), медь в 775 раз (ПДК — 0,001), цинк в 600 раз (ПДК — 0,01), марганец в 148 раз (ПДК — 0,01).

Анализ шахтной воды был произведен Химико-бактериологической лабораторией западной системы очистных сооружений г. Нижний Тагил по адресу: ш. Кушвинское, литер 6А.

Таблица 1

Состав вод р. Тагил и р. Левиха (по данным опробования за 2019 г., мг/д³)

Composition of water in the Tagil and Levikha Rivers (according to sampling data in 2019, mg/dm³)

Наименование ингредиентов	Единица измерений	Дата отбора проб (проба № 1)		Средний показатель	Дата отбора проб (проба № 2)		Средний показатель	Дата отбора проб (проба № 3)		Средний показатель
		27.09.2019	10.10.2019		27.09.2019	10.10.2019		27.09.2019	10.10.2019	
Водородный показатель	ед. pH	7,3	7,4	7,35	7	6,7	6,85	4,3	4,4	4,35
Прозрачность	См	40	40	40	16	12	14	3	3	3
Запах 20С°	балл	1	0	0,5	2	0	1			0
Запах 60С°		2	0	1	2	0	1			0
Цветность	градус	56	60	58	56	62	59			0
Массовая концентрация взвешенных веществ	мг/дм³	3	3	3	7	5,5	6,25	94	123	108,5
Массовая концентрация сухого остатка	мг/дм³	154	104	129	296	348	322	5143	4856	4999,5
Бихроматная окисляемость (ХПК)	мг/дм³	39,9	30,1	35	40,7	38,6	39,65	8,37	46,1	27,235
Биохимическое потребление кислорода ($БПК_5$)	мгO_2/мг/дм³	2	8,7	5,35	2,56	4,48	3,52	2,5	1,5	20,17
Массовая концентрация железа общего	мг/дм³	0,17	0,28	0,225	0,076	0,1	0,088	1,52	0,77	1,145
Массовая концентрация меди	мг/дм³	0,026	0,07	0,048	0,11	0,181	0,1455	0,98	0,57	0,775
Массовая концентрация цинка	мг/дм³	0,019	0,18	0,0995	0,83	0,36	0,595	5,2	7,8	6,5
Массовая концентрация марганца	мг/дм³	0,11	0,082	0,096	0,24	2,01	1,125	0,52	2,45	1,485

Анализируя степень и характер загрязнения воды в реке Тагил по ее течению, можно отметить значительное ухудшение качества воды после сброса очищенных сточных вод с Лёвихинского рудника. Содержание всех компонентов в воде реки Тагил увеличивается, а качество — ухудшается.

Так, резко снижается прозрачность, меняется цветность и увеличивается концентрация взвешенных веществ и сухого остатка.

Сопоставление с данными опробования более ранних лет, приведенными в работе [6], показывает, что концентрации загрязняющих веществ в реке Тагил ниже впадения в нее р. Лёвихи продолжают оставаться очень высокими, превышающими ПДК для водоемов рыбохозяйственного значения в десятки и сотни раз.

Все это свидетельствует о том, что существующая в настоящее время система очищения КШВ Лёвихинского рудника от загрязняющих веществ является паллиативом, решая проблему обезвреживания шахтных и подотвальных вод рудника лишь частично, а экологический вред, наносимый окружающей среде и населению поселка Лёвиха только увеличивается, что позволяет отнести территорию затопленного Левихинского рудника к объектам накопленного экологического вреда [8].

Как отмечалось выше, величина экологического ущерба водным объектам только от сброса КШВ после затопления Лёвихинского рудника составляет 120 млн руб. в год (для сравнения при отработке рудника ущерб оценивался величиной 200 млн руб. в год). При этом величина предотвращенного экологического ущерба на порядок больше [3].

Методы исследования

Для оценки накопленного экологического вреда территории Лёвихинского рудника кафедра Геологии и защиты в чрезвычайных ситуациях (ГлЗЧС) Уральского государственного горного университета (УГГУ) планирует летом 2021 г. провести полевую практику студентов 3 курса, прослушавших курс «Геоэкологическое картирование», в данном районе. Предварительно в камеральных условиях должны быть отдешифрированы имеющиеся аэро- и космоснимки разных масштабов. Так как геологические комплексы Лёвихинского рудного поля имеют преимущественно субмеридиональное простирание [5], маршруты будут проводиться в субширотном направлении. На пикетах наблюдения будут выделяться естественные и искусственные ландшафты, описываться наблюдаемые экзогенные геологические процессы, проводиться опробование и описание грунтов и почв, растительность, поверхностные воды и донные отложения. Опробование будет проводиться на топографической основе масштаба 1:10000.

Для обеспечения необходимой представительности на каждом пикете будут отбираться 5 единичных проб почв и 5 единичных проб грунтов методом «конверта» с 1 , объединяемые в одну сборную пробу почвы и одну сборную пробу грунта. Вес единичной пробы 0,2 кг, объединенной — 1 кг. Отбор и обработка проб будет производиться по известным методикам согласно ГОСТ.

Так как основной целью работы является инвентаризация и оценка отвалов как твердых отходов добычи, то им будет уделено основное внимание по описанию и опробованию. Дело в том, что на Лёвихинском руднике присутствуют отвалы разных лет. Первые рудные тела были открыты в 1927 г., а последние разрабатывались уже в начале 2000-х, т. е. на территории рудника находятся и 90-летние отвалы,

и совсем молодые. Естественно, что за девять десятков лет лежания на поверхности сульфидсодержащие отвалы могли пройти полную естественную химическую рекультивацию, т. е. сульфиды железа, меди и цинка могли под влиянием процессов химического и бактериального выщелачивания полностью разрушиться, превратившись в гидроокислы железа, а медь и цинк вместе с подотвальными водами (стоками) вынестись на поверхность. Такие отвалы уже можно было бы выравнивать, подвергать горнотехнической рекультивации, а затем приступить и к биологической рекультивации — формировать почвенный слой, производить посев трав и кустарников [9]. Что касается молодых отвалов, не прошедших естественную химическую рекультивацию, то на них, очевидно, необходимо будет делать нейтрализацию сульфидов с использованием комплекса геотехнологических методов (например, кучного выщелачивания). Для орошения молодых отвалов можно было бы использовать КШВ самого рудника, которые сейчас идут на известкование. Таким образом, разбраковка отвалов по степени их разрушения и изменения агрессивности по отношению к окружающей среде

Таблица 2
Классификация объектов накопленного экологического ущерба
Classification of accumulated ecological damage objects

№ п/п	Критерии классификации	Результаты оценки/балл			Всего баллов
1	Численность населения, в близлежащем населенном пункте от объекта	до 10 тыс. чел./1	от 10 001 до 40 тыс. чел./3	свыше 40 тыс. чел./5	1 — 5
2	Класс опасности для окружающей среды	IV-V/1	III/3	I-II/5	1 — 5
3	Удалённость объекта от селитебной зоны, м.	более 10 000/1	3 000 — 10 000/3	до 3 000/5	1 — 5
4	Рассмотрение объекта на территории со специальным режимом осуществления хозяйственной деятельности, а также имеющее особое природоохранное значение	не расположен/1		расположен/5	1,5
5	Расположение объекта на территории, входящей в зону экологического бедствия, чрезвычайных ситуаций	не расположен/1		расположен/5	1,5
6	Площадь объекта, га	5 — 7 га/1	7 — 12 га/3	>12 га/5	1 — 5
7	Приоритетность объекта по приложению Б ГОСТ Р 54003 — 2010	не включён		включён/5	1,5

является одной из основных задач геоэкологического картирования.

Результаты исследования и их обсуждение

В Приказе Росприроднадзора от 25 апреля 2012 г. №193 даны Методические рекомендации по проведению инвентаризации объектов накопленного экологического ущерба. В табл. 2 приводится классификация таких объектов, а в табл. 3 — ранжирование этих объектов.

К объектам 1 ранга относятся объекты, требующие, в первую очередь, подготовки рекомендаций о целесообразности проведения работ по ликвидации накопленного экологического ущерба. К объектам 2 ранга относятся объекты, требующие, во вторую очередь, подготовки рекомендаций о целесообразности проведения работ для ликвидации накопленного экологического ущерба. И, наконец, к объектам 3 ранга относятся объекты, требующие, в третью очередь, подготовки рекомендаций о целесообразности проведения работ для ликвидации накопленного экологического ущерба.

Руководствуясь данными рекомендациями, мы подсчитали баллы, соответствующие показателям территории Лёвихинского рудника, которые попадают в разряд 15 и более баллов и позволяют отнести эту территорию к объектам 1 ранга, т. е. данная территория требует подготовки рекомендаций о целесообразности проведения работ по ликвидации накопленного экологического ущерба в первую очередь.

В 2018 г. вышло Постановление Правительства РФ «Об утверждении Правил организации работ по ликвидации накопленного вреда окружающей среде» (с изменениями на 25 декабря 2019 г.). Организация работ должна включать в себя экологическое и экономическое обоснование проведения работ по ликвидации накопленного вреда, обоснование планируемых мероприятий и технических решений по проведению этих работ, обоснование достижения нормативов качества окружающей среды и санитарно-гигиенических норм состояния территории по окончанию работ по ликвидации накопленного вреда [11].

Кафедрой Геологии и защиты в чрезвычайных ситуациях УГГУ в настоящее время решается задача составления Геоэкологической информационной системы Лёвихинского рудника, в которой отдельными слоями будут отображены границы территории исследования, техногенные объекты (шахты, шурфы, карьеры и др.), источники загрязнения (породные отвалы, стоки с отвалов, изливы шахтных вод и др.), участки угнетенной растительности, цифровая модель рельефа, информация о техногенных объектах. ГИС Лёвихинского рудника должна стать первым этапом решения проблемы ликвидации накопленного экологического вреда затопленного Лёвихинского рудника.

Таблица 3
Ранжирование объектов накопленного экологического ущерба
Ranking of accumulated ecological damage object

№ п/п	Ранг	Баллы
1	1	15 и более
2	2	8 — 14
3	3	до 7

Из всего изложенного выше следует, что наличие на территории затопленного Лёвихинского рудника накопленного экологического вреда в виде: 1) отвалов добычи медноколчеданных руд, бессистемно размещенных с момента эксплуатации Лёвихинских месторождений на территории более 1 тыс. га и 2) загрязнение водных объектов территории самоизливающимися КШВ и подотвальными водами, в связи с чем ежегодный ущерб составляет более 10 млрд руб. в год [6], требует безотлагательного проведения подготовительных работ по включению территории Лёвихинского рудника в Государственный реестр объектов накопленного экологического вреда. Для этого необходимо, прежде всего, проведение специализированного обследования территории в виде геоэкологического и инженерно-геологического картирования; учета и инвентаризации горнопромышленных отходов; ориентировочного подсчета запасов меди и цинка, накопленных в этих отвалах и инфляции этих запасов за годы длительного нахождения на поверхности; оценки характера и степени загрязнения почв, грунтов и подпочвенных вод. На сегодняшний день оценка влияния затопленного Лёвихинского рудника на окружающую среду на профессиональном уровне проведена Рыбниковой Л. С. с коллегами лишь для поверхностных водных объектов территории [3, 6].

Что касается рекультивации территории, на которой не только разрушены, но и полностью уничтожены многие компоненты природной среды (растительный и почвенный покров, изменен рельеф местности и др.), в настоящее время такой вопрос даже не ставится, так как запасы Левихинского месторождения находятся еще на государственном балансе, месторождения считаются не отработанными, и со временем могут быть вовлечены в дальнейшее освоение.

Однако в связи с тем, что на Лёвихинском руднике вынос металлов шахтными водами в зонах разгрузки продолжается на высоком уровне и составляет сотни (марганец, цинк) и тысячи тонн в год (железо), а концентрация практически всех редкоземельных элементов в шахтных водах в десятки раз превышает промышленные содержания [3], то на современном этапе вместо прежней горнопроходческой практики добычи экономически более целесообразнее и технологически доступнее использовать шахтные воды как источник гидроминерального сырья. Для этого достаточно найти технологию, сочетающую очищение и обеззараживания КШВ с возможностью избирательного извлечения из них ценных компонентов.

Как считает Рыбникова Л. С., суммарная извлекаемая ценность цветных металлов и редкоземельных элементов из КШВ Лёвихинского рудника составляет более 500 млн руб. в год, что превышает затраты на обеспечение ежегодной нейтрализации КШВ и величину экологического ущерба [3].

Применяемая в настоящее время схема очистки КШВ путем известкования с последующим отстаиванием в шламовых прудках-накопителях, как считают специалисты [12], обеспечивает удаление лишь 30—40 % водорастворимых соединений меди и цинка и не изменяет концентрацию соединений марганца, содержание которых в ряде случаев достигает 400 г/м^3. Образующийся шлам утилизации не подвергается.

В работе [12] для очистки КШВ от соединений предлагается способ с последующей реагентной обработкой щелочными растворами феррата калия,

входящего в состав реагента «Фернел». Недостатком предложенного способа очистки КШВ Лёвихинского рудника является его многоэтапность, использование новых компонентов в виде железной и алюминиевой стружки и окончательная обработка сточных вод теми же известковыми растворами.

Известен способ очистки шахтных вод [13], осуществляемый путем комплексной многоступенчатой очистки воды, пропускающейся через ряд фильтров. На первой стадии шахтные воды фильтруют через загрузку кварцевого песка, на второй стадии медь, никель и марганец извлекают в трех и более сорбционных фильтрах аминодиацетатным ионитом, а затем шахтные воды обрабатывают 20 % раствором карбоната натрия до pH 6,5 — 8,5. Образующиеся карбонаты кальция и магния удаляют на стадии ультрафильтрации и очищенные воды обеззараживают ультрафиолетовым излучением. Недостатком данного метода является также многостадийность и использование дополнительных компонентов в виде песка и ионитов.

Известен способ извлечения ценных компонентов из сульфидного сырья электроимпульсной обработкой [14]. Способ включает промывку сырья водой с получением твердого осадка, получение сульфатного раствора, из которого извлекают железо, медь и цинк путем перевода железа в осадок в виде гидроксида железа $Fe(OH)_3$, осаждения меди из фильтрата железным скрапом, осаждения цинка из фильтрата сероводородом. Затем в фильтрат, содержащий Na_2SO_4 и кислоту, добавляют $Ca(OH)_2$ для утилизации сульфата натрия и серной кислоты в виде осадка гипса с получением фильтрата с гидроксидом натрия и накоплением фильтрата для осуществления оборота NaOH. При этом твердый осадок, полученный из исходного сульфидного сырья, репульпируют, пульпу обрабатывают электрическими импульсами с энергией от 3,5 Дж до 5,5 Дж, под воздействием которых пирротин, халькопирит, сфалерит и сульфиды разлагаются на оксиды металлов железа, меди и цинка и сероводород. Из образовавшейся пульпы фильтрацией выделяют жидкую фазу и используют её в качестве оборотной воды. Оксиды упомянутых металлов растворяют в серной кислоте, сульфатный раствор фильтруют, из фильтра селективно извлекают продукты, содержащие железо, медь, цинк и гипс, а из осадка, содержащего кварц, серицит, золото и труднорастворимые минералы, получают золото цианированием, а сероводород используют для осаждения цинка.

Недостатком способа является многостадийность, предварительное получение сульфатного раствора, использование дополнительных компонентов.

Проф. Б. Б. Зобниным, который многие годы занимается проблемой переработки шахтных вод [15], предлагается плазмотермическая технология очистки КШВ от загрязнителей. Создан опытный образец мобильного технологического комплекса, обеспечивающего извлечение ионов тяжелых металлов из кислых шахтных вод, и позволяющего без использования химических реагентов: очистить шахтную воду до требований СанПин 2.1.4.1074 — 01, обеспечить ее обеззараживание; обеспечить нейтрализацию КШВ; обеспечить умягчение воды; обеспечить извлечение из КШВ тяжелых металлов, находящихся с ней в растворимой форме. Таким образом, плазмотермическая технология очистки кислых шахтных вод имеет следующие преимущества:

1) КШВ очищаются от экологически опасных элементов, и становится

Таблица 4
Основные технические решения
Basic engineering solutions

Наименование оборудования и проектных работ	Предприятие-изготовитель	Стоимость, руб.
Проходной эмульгатор-диспергатор УПЭД-5 – 18/5 – 18	Группа компаний РЭЛТЕК	2397570+НДС (20 %) = 287084
Аппарат магнитной обработки воды АМО-200УХЛ	Квазар	54300 + НДС (20 %)
Промышленный декантер		7000000 + НДС (20 %) = 8400000
Сушилка илового осадка SM2000 ELP	ООО «Рабика-энергосбережение»	1500000 + НДС (20 %) = 1800000
Модульный блок-контейнер (проектирование + изготовление)	KosmosModul	600000 + 240000 = = 840000
Разработка технологического регламента	УГГУ	500000
Средства контроля и регулирования технологического комплекса		1000000
SCADA система		16200
		15417084 руб.

Таблица 5
Химический состав различных марок цинковых порошков
Chemical compositions of zinc powder of different grades

Класс	Марка	Zn, %, не менее	Состав примесей, %, не более					
			Fe	Pb	Cd	Cu	Sn	As
Класс А	ПЦР-1	98,0	0,003	0,01	0,002	0,001	0,001	0,0005
	ПЦР-2	97,0	0,005	0,013	0,004	0,001	0,001	0,0005
	ПЦР-3	95,0	0,005	0,02	0,005	0,001	0,001	0,001
	ПЦР-4	95,0	0,005	0,02	0,005	0,001	0,001	0,001
	ПЦР-5	95,0	0,001	0,002	0,0003	0,0008	0.0005	0,0005
Класс В	ПЦР-6	95,0	0,001	0,002	0,0003	0.0008	0,0005	0,0005
	ПЦР-7	95,0	0,001	0,002	0.0003	0,0008	0,0005	0,0005

Таблица 6
Гранулометрический состав различных марок цинковых порошков
Table 6. Grain-size compositions of zinc powder of different grades

Класс	Марка	Остаток на сетке по ГОСТ 3584–73, %, не более					
		45 мкм	50 мкм	63 мкм	71 мкм	160 мкм	630 мкм
Класс А	ПЦР-1	10,0 %	1,0 %		0,4 %		
	ПЦР-2			5,0 %	2,0 %		
	ПЦР-3			10,0 %	2,5 %	0,1 %	

Окончание табл. 6

Класс	Марка	Остаток на сетке по ГОСТ 3584—73, %, не более					
		45 мкм	50 мкм	63 мкм	71 мкм	160 мкм	630 мкм
	ПЦР-4			20,0 %	5,0 %	3,0 %	
	ПЦР-5				80,0 %		
Класс В	ПЦР-6					98,0 %	
	ПЦР-7						80,0 %

возможным их сброс на рельеф без известкования. При этом сокращаются эксплуатационные расходы на нейтрализацию КШВ, достигающие ежегодно 80 и более млн руб.;

2) извлечение из КШВ тяжелых металлов, находящихся в ней в растворимой форме, позволяет получить новый востребованный товарный продукт — высокодисперсные металлические порошки, направляемые на дальнейшую переработку;

3) надежное обеззараживание КШВ, безреагентная дезинфекция воды; уничтожение всех видов микроорганизмов, обработка воды независимо от количества взвешенных в ней твердых частиц и примесей; эффективная дезинфекция воды в объеме радиусом до одного метра;

4) низкая удельная энергоемкость; экологическая чистота, обеспечиваемая безреагентным характером обеззараживания и возможностью отделения обрабатываемого объема воды от зоны разряда проницаемой для ударных волн мембраной;

5) обеззараживание воды до питьевого стандарта практически любой сложности, что крайне актуально для так называемых «сложных» вод, которые характеризуются содержанием железа в виде металлоорганических соединений, а также повышенным содержанием марганца, кремния и др.;

6) высокая эффективность очистки должна быть обеспечена как по металлам (железо, марганец, свинец и т. д.), так и по органике (фенол, метанол, трихлорэтилен и т. д.). Причем, фенол должен разлагаться до углекислого газа и воды без образования промежуточных продуктов.

Технологический комплекс монтируется в утепленном модульном блок–контейнере площадью 30 м^2. Основные технические решения предлагаемой технологии приведены в табл. 4.

Химический состав КШВ Лёвихинского рудника позволяет получить при их переработке набор товарных продуктов, например, цинковый порошок 40/100 ПРЦиЮ16, стоимость которого составляет 2000 руб./кг. Цинковый порошок производится по ТУ 1721 — 002 — 194228 — 97 (аналог ГОСТ 12601 — 76). Данный стандарт распространяется на цинковый порошок марок: ПЦР-1, ПЦР-2, ПЦР-3, ПЦР-4, ПЦР-5, ПЦР-6, ПЦР-7 (табл. 5, 6).

В настоящее время установка по очистке КШВ проф. Б. Б. Зобнина успешно проходит стендовые испытания.

Как видно из табл. 4, стоимость основных технических решений плазмотермической технологии значительно ниже ежегодных расходов на известкование КШВ, затрачиваемых из бюджета Свердловской области.

Заключение

1. На эксплуатационном этапе деятельности Лёвихинского рудника вмещающие околорудноизмененные метасоматиты бессистемно складированы

в многочисленные отвалы, которые в результате долговременного нахождения на поверхности прогрессивно разрушаются, а сульфидная минерализация при химическом и органическом выветривании становится причиной возникновения разнообразных поллютантов, попадающих в подотвальные воды, что разрушает почвы и уничтожает растительность, превращая окрестности рудника в техногенные пустоши;

2. Экологический вред, накопленный на территории затопленного Лёвихинского рудника в результате хозяйственной деятельности прошлых лет и наносящий ежегодно ущерб только поверхностным водным объектам в размере более 10 млрд руб., относится к разряду накопленного экологического вреда;

3. Процедуру подготовки территории рудника для включения в Государственный реестр объектов накопленного экологического вреда необходимо начинать с создания многослойной Геоэкологической информационной системы Лёвихинского рудника с последующим проведением геоэкологического и инженерно-геологического картирования;

4. Просить Министерство природных ресурсов и экологии Свердловской области рассмотреть предложение проф. Б. Б. Зобнина о внедрении плазмотермической технологии для очистки кислых шахтных вод Левихинского рудника и получения товарной продукции в виде цинковых порошков.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Федеральная целевая программа «Ликвидация накопленного экологического ущерба» на 2014—2025 годы [Электронный ресурс]. – Режим доступа: // Официальный сайт Министерства природных ресурсов и экологии Свердловской области.
2. Отвалы Аллареченского месторождения сульфидных медно-никелевых руд — специфика и проблемы освоения/ Селезнев С. Г. // Автореферат дисс.канд. геол.-минер. наук. Екатеринбург.2013.-25 с.
3. Процессы формирования подземных вод в горнодобывающих районах Среднего Урала по постэксплуатационном этапе: автореф. дисс. докт. геол.–мин. наук / Рыбникова Л. С. — Москва. 2019. — 45 с.
4. Ученые обследуют Лёвихинский рудник, чтобы снизить его воздействие на экологию Урала [Электронный ресурс]. — Режим доступа: https: // www/ural.kr.ru/online/news/3966158/, свободный / Истомин, Л.
5. Геолого-промышленные типы месторождений меди, цинка, свинца на Урале (геологические условия размещения, история формирования, перспективы)/ Контарь Е. С. // Екатеринбург.2013.—278 с.
6. Оценка влияния затопленного Левихинского медноколчеданного рудника на качество поверхностных вод реки Тагил / Рыбникова Л. С., Рыбников П. А., Наволокина В. Ю. // Проблемы недропользования. Сетевое периодическое научное издание. 2019. № 3. С 155—161.
7. Техногенное воздействие горнодобывающих предприятий Урала на состояние гидросферы / *Рыбникова Л. С.* // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. — 2012. — № 1. — С.74—91.
8. Объекты накопленного экологического вреда: правила выявления и порядок ведения государственного реестра / Экология производства // Пономарев М. В. 2019. № 8. С. 9—11.
9. Охрана и предотвращение загрязнения водных объектов от стока с техногенных образований/ Рыбаков Ю. С. // Автореферат диссертации на соискание ученой степени д.т.н., 1998.-40 с.

10. Ликвидация накопленного экологического ущерба — организационные и правовые аспекты / Пинаев В. Е., Чернышев Д. А. // М.: Мир науки. — 2017. — 103 с.

11. Постановление Правительства РФ от 25 декабря 2019 г. №1834 «О случаях организации работ по ликвидации накопленного вреда, выявления и оценки объектов накопленного вреда окружающей среде»

12. Очистки шахтных вод остановленных медных рудников. Леса России и хозяйство в них. / Халемский А. М., Смирнов С. В. // № 1 (48). 2014. С. 70—73.

13. Способ комплексной очистки шахтных вод / Королев А. А. и др. // Патент RU 2 666 859. С2. Заявл. 2016.12.01. Опубл. 2018.09.12.

14. Способ выщелачивания извлечения ценных компонентов из сульфидного сырья электроимпульсной обработкой / Борисков Ф. Ф. и др. // Патент RU 2559599 С1. Заявл. 2014.04.22. Опубл.2015.08.10.

15. Обоснование комплекса контролируемых параметров при первичной переработке кислых рудничных вод безреагентным методом / Зобнин Б. Б., Кочетков В. В. // Труды VII Международной научно–практической конференции, 2019. ГИАБ

REFERENCES

1. *Federal'naya celevaya programma «Likvidaciya nakoplennogo ekologicheskogo ushcherba» na 2014—2025 gody* [Federal target program «Elimination of accumulated environmental damage» for 2014-2025] [Elektronnyj resurs]. Rezhim dostupa: Oficial'nyj sajt Ministerstva prirodnyh resursov i ekologii Sverdlovskoj oblasti. [In Russ]

2. Seleznev S. G. *Otvaly Allarechenskogo mestorozhdeniya sul'fidnyh medno-nikelevyh rud specifika i problemy osvoeniya* [Dumps of the Allarechensk deposit of sulfide copper-nickel ores-specifics and problems of development]. Avtoreferat diss.kand. geol.-miner. nauk. Ekaterinburg.2013. 25 p. [In Russ]

3. Rybnikova L. S. *Processy formirovaniya podzemnyh vod v gornodobyvayushchih rajonah Srednego Urala po posteksploatacionnom etape* [Processes of formation of underground waters in the mining areas of the Middle Urals at the post-operational stage]: avtoref. diss. dokt. geol.–min. nauk. Moscow. 2019. 45 p. [In Russ]

4. Istomin L. *Uchenye obsleduyut Lyovihinskij rudnik, chtoby snizit' ego vozdejstvie na ekologiyu Urala* [Scientists examine the Levikhinsky mine to reduce its impact on the ecology of the Urals] [Elektronnyj resurs]. Rezhim dostupa: https:. www/ural.kr.ru/online/news/3966158/ svobodnyj. [In Russ]

5. Kontar' E. S. *Geologo-promyshlennye tipy mestorozhdenij medi, cinka, svinca na Urale (geologicheskie usloviya razmeshcheniya, istoriya formirovaniya, perspektivy)* [Geological and industrial types of copper, zinc, lead deposits on the Ural region (geological conditions of the location, history of formation, prospects)] Ekaterinburg. 2013. 278 p. [In Russ]

6. Rybnikova L. S., Rybnikov P. A., Navolokina V. Yu. Assessment of the influence of the flooded Levikhinsky copper-chipped mine on the quality of surface waters of the Tagil River. *Problemy nedropol'zovaniya. Setevoe periodicheskoe nauchnoe izdanie*. 2019. no. 3. pp. 155—161. [In Russ]

7. Rybnikova L. S. Technogenic impact of mining enterprises of the Urals on the state of the hydrosphere. *Vodnoe hozyajstvo Rossii: problemy, tekhnologii, upravlenie*. 2012. no. 1. pp. 74—91. [In Russ]

8. Ponomarev M. V. Objects of accumulated environmental damage: rules for identifying and maintaining the State register. *Ekologiya proizvodstva*. 2019. no. 8. pp. 9—11. [In Russ]

9. Rybakov Yu. S. *Ohrana i predotvrashchenie zagryazneniya vodnyh ob»ektov ot stoka s tekhnogennyh obrazovanij* [Protection and prevention of pollution of water bodies from runoff from technogenic formations]. Avtoreferat dissertacii na soiskanie uchenoj stepeni d.t.n., 1998. 40 p. [In Russ]

10. Pinaev V. E., Chernyshev D. A. *Likvidaciya nakoplennogo ekologicheskogo ushcherba organizacionnye i pravovye aspekty* [Liquidation of accumulated environmental damage-organizational and legal aspects]. Moscow: Mir nauki. 2017. 103 p. [In Russ]

11. *Postanovlenie Pravitel'stva RF ot 25 dekabrya 2019 g. no.1834 «O sluchayah organizacii rabot po likvidacii nakoplennogo vreda, vyyavleniya i ocenki ob»ektov nakoplennogo vreda okruzhayushchej srede»* [Decree of the Government of the Russian Federation No. 1834 of December 25, 2019 «On Cases of Organizing Work to Eliminate Accumulated Harm, Identify and Evaluate Objects of Accumulated Harm to the Environment»] [In Russ]

12. Halemskij A. M., Smirnov S. V. Treatment of mine waters of stopped copper mines. Forests of Russia and the economy in them. *Lesa Rossii i hozyajstvo v nih*. no. 1 (48). 2014. pp. 70—73. [In Russ]

13. Sposob kompleksnoj ochistki shahtnyh vod. Korolev A. A. i dr. Patent RU 2 666 859. S2. Zayavl. 2016.12.01. Opubl. 2018.09.12. [In Russ]

14. Sposob vyshchelachivaniya izvlecheniya cennyh komponentov iz sul'fidnogo syr'ya elektroimpul'snoj obrabotkoj. Boriskov F. F. i dr. Patent RU 2559599 S1. Zayavl. 2014.04.22. Opubl.2015.08.10. [In Russ]

15. Zobnin B. B., Kochetkov V. V. *Obosnovanie kompleksa kontroliruemyh parametrov pri pervichnoj pererabotke kislyh rudnichnyh vod bezreagentnym metodom* [Substantiation of the complex of controlled parameters in the primary processing of acid mine waters by a non-reagent method]. Trudy VII Mezhdunarodnoj nauchno–prakticheskoj konferencii, 2019. [In Russ]

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Болтыров Владимир Босхаевич[1] — профессор, докт. геол.–минерал. наук, e-mail: boltyrov34@mail.ru;
Стороженко Любовь Александровна[1] — доцент, кандидат геол.–минерал. наук, e-mail: stor_luba@mail.ru;
Сапсай Мария Алексеевна[1] — магистрант группы ЛНВм-20оз, maria0296@mail.ru;
[1] Уральский государственный горный университет (УГГУ), Екатеринбург, Россия.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Boltyrov V. B., professor, Dr. Sci. (Geol. Mineral.), boltyrov34@mail.ru;
Storozhenko L. A., associate professor, Cand. Sci. (Geol. Mineral.), stor_luba@mail.ru;
Sapsay M. A., master, 206112@m.ursmu.ru;
[1] Ural State Mining University, Ekaterinburg, Russia.

Получена редакцией 27.01.2021; получена после рецензии 02.04.2021; принята к печати 10.04.2021.
Received by the editors 27.01.2021; received after the review 02.04.2021; accepted for printing 10.04.2021.