



ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ ВОВЛЕЧЕНИЯ ШЛАМОВ ОЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЙ ГОРНО-МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ ПРЕДПРИЯТИЙ В РЕЦИКЛИНГ

Горлова О.Е.^{1,2}, Орехова Н.Н.^{1,2*}, Захарова Т.Н.², Лебедев В.С.²

¹ Институт проблем комплексного освоения недр им. академика Н.В. Мельникова РАН, гор. Москва, Россия

² Магнитогорский государственный технический университет им. Г. И. Носова, гор. Магнитогорск, Россия

* Контактное лицо: n_orehova@mail.ru

gorlova_o_e@mail.ru (Г.О.Е.), tanya.zakharoval@icloud.com (З.Т.Н.), a_kito@bk.ru (Л.В.С.)

Аннотация. Тонкодисперсные шламы сооружений очистки отходящих газов и сточных вод горно-металлургических предприятий, с одной стороны, являются экологически опасными отходами, с другой – техногенным ресурсом металлов. В статье рассмотрены состав, структура, физические и химические свойства шламов предприятий черной и цветной металлургии. Шламы разделены авторами на две группы по обособленности фазы, содержащей ценный компонент, от других ингредиентов шлама. Такое разделение является важным для оценки пригодности шламов для разделительных процессов обогащения и выбора решений по подготовке данного вида тонкодисперсного техногенного сырья и его вовлечения в переработку с извлечением металлов. Описана современная практика утилизации шламов на предприятиях. Проанализированы существующие и предложены новые технологические решения, позволяющие вовлечь шламы в рециклинг металлов. Отмечено, что в некоторых случаях для эффективной утилизации шламов необходимо целенаправленное получение в многостадийном процессе очистки вод селективных по металлу шламов. Представлены результаты изучения конкретных представителей выделенных групп шламов, результаты лабораторных испытаний по извлечению из них цветных металлов. Описаны разработанные технологические решения по комплексной переработке железоцинксодержащих доменных шламов ОАО «Магнитогорский металлургический комбинат» по комбинированной схеме, включающей обратную флотацию шламов и мокрую магнитную сепарацию. Представлены результаты использования, контролируемого по pH гидроксидного и сульфидного осаждения, а также схемы цементация-сульфидное осаждение для получения селективных медь- и цинксодержащих шламов при переработке подотвальной воды. Приведены технологические и экономические показатели переработки. Сформулированы принципы, на которых должны базироваться технологические решения ресурсосберегающих технологий переработки шламов.

Ключевые слова: ресурсовоспроизводство, сточная вода, шлам очистки вод, разделительные процессы, извлечение, медь, цинк, черная металлургия, цветная металлургия, переработка осадка

© Горлова О.Е., Орехова Н.Н., Захарова Т.Н., Лебедев В.С. 2022

Поступила: 12 ноября 2022; Принята к публикации: 01 декабря 2022; Опубликовано: 30 декабря 2022

Для цитирования:

Горлова О.Е., Орехова Н.Н., Захарова Т.Н., Лебедев В.С. Технологические решения вовлечения шламов очистных сооружений горно-металлургических предприятий в рециклинг // Недропользование и транспортные системы. 2022. Т.12. №2. С.46–52. <https://doi.org/10.18503/SMTS-2022-12-2-46-52>



Это произведение доступно по лицензии Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0) (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

<https://doi.org/10.18503/SMTS-2022-12-2-46-52>

ISSN 2949-0952 (Print)



TECHNOLOGICAL SOLUTIONS FOR INVOLVING SLUDGE FROM MINING AND METALLURGICAL ENTERPRISES INTO RECYCLING

Olga Gorlova^{1,2}, Natalia Orekhova^{1,2*}, Tatyana Zakharova², Vladimir Lebedev²

¹ Institute of Comprehensive Exploitation of Mineral Resources Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

² Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia

* Corresponding: n_orehova@mail.ru

gorlova_o_e@mail.ru (O.G.), tanya.zakharova1@icloud.com (З.Т.Н.), a_kito@bk.ru (Л.В.С.)

Abstract. Finely dispersed sludge from facilities for cleaning exhaust gases and wastewater from mining and metallurgical enterprises, on the one hand, is an environmentally hazardous waste, and on the other hand, a technogenic resource of metals. The article considers the composition, structure, physical and chemical properties of sludge from ferrous and non-ferrous metallurgy enterprises. Sludges are divided by the authors into two groups according to the separation of the phase containing a valuable component from other sludge ingredients. Such a separation is important for evaluating the suitability of sludge for separating enrichment processes and choosing solutions for the preparation of this type of finely dispersed technogenic raw materials and its involvement in processing with the extraction of metals. The modern practice of sludge disposal at enterprises is described. Existing technological solutions are analyzed, and new technological solutions are proposed to involve sludge in metal recycling. It is noted that in some cases, for the effective disposal of sludge, it is necessary to purposefully obtain metal-selective sludge in the multistage process of water purification. The results of the study of specific representatives of the identified groups of sludge, the results of laboratory tests for the extraction of non-ferrous metals from them, are presented. The developed technological solutions for the complex processing of iron-zinc-containing blast-furnace sludge of OJSC "Magnitogorsk Iron and Steel Works" according to a combined scheme, including reverse flotation of sludge and wet magnetic separation, are described. The results of the use of pH-controlled hydroxide and sulfide precipitation, as well as the cementation-sulfide precipitation scheme for obtaining selective copper- and zinc-containing sludges during the processing of underdump water, are presented. Technological and economic indicators of processing are given. The principles on which the technological solutions of resource-saving technologies for processing sludge should be based are formulated.

Keywords: recycling, wastewater, water treatment sludge, separation processes, extraction, copper, zinc, ferrous metallurgy, non-ferrous metallurgy, sludge processing

© Gorlova O., Orekhova N., Zakharova T., Lebedev V., 2022

Received: November 12, 2022; Accepted: December 01, 20XX; Published: December 30, 2022

For citation:

Gorlova O., Orekhova N., Zakharova T., Lebedev V. Technological Solutions for Involving Sludge from Mining and Metallurgical Enterprises into Recycling // *Subsurface Management and Transportation Systems*. 2022, Vol. 12, No. 2, pp. 46-52. <https://doi.org/10.18503/SMTS-2022-12-2-46-52>



The content is available under Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0) (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

1. Введение

Техногенно-минеральные образования (ТМО) являются источником атмосферного и гидрогенного рассеяния загрязняющих веществ в окружающую среду. Интенсивность атмосферного рассеяния зависит от дисперсности ТМО, концентрации в них металлов и занимаемой площади [1]. К наиболее мелкодисперсным ТМО относятся шламы очистных сооружений, которые сегодня являются объектом исследований специалистов экологов, обогащателей и металлургов. Шламы, являясь экологически опасными отходами, рассматриваются как ресурс ценных компонентов, в том числе железа и цветных металлов. Наиболее высокое содержание металлов характерно для шламов черной и цветной металлургии, что обуславливает необходимость вовлечения этих отходов в рециклинг.

Вовлечение шламов в переработку с извлечением ценных компонентов методами обогащения будет эффективно в том случае, если фазы шлама, содержащие ценный компонент, окажутся обособлены от фаз, не содержащих ценный компонент. Обособленность фаз предопределяется процессом образования шлама, условиями его структуризации. Горно-металлургические шламы различаются не только по элементному и фазовому составу, но и по крупности, по гигроскопичности, по склонности к агрегированию. В целом, по совокупности признаков, шламы разделяются на шламы, образующиеся в результате процесса, предшествующего осаждению в отстойниках, и шламы, образующиеся в отстойниках в процессе реагентной очистки от металлов с образованием нерастворимых соединений, выпадающих в осадок.

К первым относятся шламы пылеулавливающих установок, образующиеся в металлургическом производстве при работе основных агрегатов – колошниковая пыль, окалина, шламы аглодоменного и сталеплавильного производства и др. Шламы аглодоменного и сталеплавильного производств представлены шламами мокрой и сухой газоочистки технологических газов, шламами гидросмыва, аспирационными шламами литейных дворов и бункерных эстакад.

Ко вторым относятся шламы реагентной очистки природно-техногенных и сточных вод методом осаждения. Это, в том числе, шламы нейтрализации кислых рудничных (карьерных, шахтных и подотвалных) вод горных предприятий цветной металлургии, добывающих колчеданные моно- и полиметаллические руды.

2. Шламы пылеулавливающих установок

Шламы пылеулавливающих установок доменного или сталеплавильного переделов образуются при очистке газов, выходящих из доменных, мартеновских печей или конвертеров. Для очистки газов от пыли обычно используют мокрые пылеуловители типа скруббера или трубы Вентури. Взвешенные частицы из образующихся сточных вод осаждаются в горизонтальных или радиальных отстойниках, обезвоживаются фильтрованием, подвергаются термической сушке или сбрасываются в шламоотстойники.

Сложный химический состав таких шламов газоочисток является следствием действия на них высоких температур в окислительной или восстановительной атмосфере и следующего за этим контакта их с водой, кислотами или маслами. В шламах содержатся различные вредные примеси, гораздо в больших количествах, чем в исходной шихте. Это является основной причиной незначительных объёмов возврата шламов в производство, наряду с отличными от шихты их физико-химическими свойствами.

Оценка пригодности железосодержащих тонкодисперсных техногенных железосодержащих отходов к возврату их в производство металла базируется на анализе химического, фазового, гранулометрического составов, а также на определении их сыпучести, пыленности и влажности. Чаще всего содержание железа и кремнезёма в шламах газоочисток черной металлургии удовлетворяет требованиям утилизации их в доменном и сталеплавильном переделах. Препятствуют же повторному использованию наличие вредных примесей (цинк, свинец, щелочные металлы и тому подобное), изменчивость химического состава и тонкая дисперсность примесей.

Результаты априорного анализа состава железосодержащих шламов некоторых металлургических предприятий России показывают, что в колошниковой пыли в шламах доменных газоочисток железа на 55–65% представлено магнетитом и гематитом в соотношении 1:3 и 1:4. Кокса в доменных шламах содержится до 30%, а в колошниковой пыли до 17%. В табл. 1 приведён химический состав доменных шламов из газоочистных установок печей некоторых металлургических предприятий России.

Шламы содержат до 10% магния, кальция и ферритов. Также присутствуют цинкит, известь, частицы стекла. Железосодержащие минералы тесно ассоциируют между собой. В виде сростков с магнетитом или обособленных зёрен присутствуют силикаты. Для находящейся в шламах извести характерны отдельные комочки разного размера.

Таблица 1. Химический состав шламов газоочисток доменных печей, % (по массе) [2]

Table 1. Chemical composition of blast furnace gas cleaning sludge, % (by weight) [2]

Завод, комбинат	Feобщ.	FeO	Fe ₂ O ₃	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	P	S	C	Zn
Магнитогорский	41.09	7.65	50.26	5.93	2.15	4.13	1.08	0.03	0.40	21.45	0.55
Новолипецкий	40.15	5.13	51.71	9.38	2.17	8.09	1.96	0.06	0.43	11.79	0.92
Нижнетагильский	45.33	7.02	57.02	6.72	2.18	6.91	1.21	0.03	0.32	10.07	3.90
Челябинский	37.81	7.29	45.97	10.96	3.59	9.82	2.81	0.05	0.35	6.49	0.75
Череповецкий	37.86	7.02	46.33	8.74	1.66	7.54	1.40	0.04	0.67	14.48	2.81

Содержание цинка в аглошихте снижает стойкость футеровки доменных печей, приводит к ухудшению газодинамических условий процесса, формированию цинкитных настывей и повышению расхода кокса.

Все это ведёт к нарушению процессов получения чугуна и соответственно к снижению технико-экономических показателей доменной плавки. Таким образом, доменные шламы должны пройти предварительное обесцинкование перед возвратом в основной цикл производства чугуна.

Однако в настоящее время отсутствует эффективная технология подготовки шламов к рециклингу, поэтому на ряде металлургических предприятий России приняты решения о полном выводе или сокращении количества шламов текущего производства в оборотных циклах. На предприятиях сложилась диспропорция между образованием этих шламов и их утилизацией как железосодержащего сырья в рамках производственного рециклинга [3]. Теряются не только миллионы тонн железа и сотни тысяч тонн цинка, но и увеличиваются территории, занятые под шламонакопители. Увеличение площадей складирования отходов влечёт за собой рост техногенной нагрузки в районах размещения металлургических предприятий.

Для разработки технологии рециклинга шламов необходимо понимание какими фазами представлены компоненты – вредные примеси. Электронно-микроскопические исследования шламов комбината «Криво-рождаль» показали, что цинк в металлургических шламах находится в виде трудновосстановимых соединений: феррита, оксида, силиката, сульфида. Вредные примеси имеют полигенную природу и полиминеральный состав, представлены простыми и сложными оксидами, к которым относятся цинкит и франклинит, галлоиды, сульфаты, сульфиды, силикаты, частицы карбонатного состава.

Для обоснования и выбора разделительных процессов обесцинкования доменных шламов для условий Магнитогорского металлургического комбината необ-

ходимо детальное изучение физических свойств шламов, их фазового, минерального составов, с выделением форм нахождения примесей.

3. Шламы реагентного осаждения

Нейтрализацию металлсодержащих вод в России и за рубежом преимущественно проводят карбонатными породами кальция и магния, а также их производными. Известкование и последующее осаждение образовавшегося осадка после его флокуляции является наиболее распространённым методом очистки подотвальных вод горнодобывающих предприятий. В литературе встречаются сведения об очистке кислых рудничных вод сульфидным осаждением. На практике сульфидное осаждение применяют только для доочистки вод после известкования из-за высокой стоимости применяемых реагентов и опасности выделения газов.

Шламы известкования кислых техногенных вод представляют собой полиминеральную обводнённую массу, состоящую из минеральных веществ преимущественно из кальцита, гипса [4] и воды (свободной, гидратной, в виде адсорбционных оболочек) [5]. Также в шламах присутствуют гидроксид магния, диоксид кремния, оксиды алюминия, непрореагировавшая известь, оксиды железа. Шламы имеют рыжий оттенок из-за присутствующего в них аморфного ферригидрита [6]. Образующийся в воде шлам играет роль контактной среды и сорбента, способствует ускорению кристаллизации и укрупнению частиц осадка, что улучшает условия выделения осадка из воды. Введение флокулянта в 4–5 раз уменьшает время осаждения и в 2–2.5 раза – объём образующего осадка, улучшает водоотдачу осадка в процессах механического обезвоживания, однако препятствует полному осушению осадка и способствует его текучести.

Шламы характеризуются низким содержанием цветных металлов (табл. 2). Как правило, такие шламы нейтрализации складывают на дренажных площадках с последующим размещением в отвалах или отправляют в шламохранилище.

Таблица 2. Характеристика работы очистных сооружений
Table 2. Characteristics of the treatment facilities work

Пред- приятие*	Сооружения очистки рудничных вод	Произво- дитель- ность, тыс.м ³ /сут.	Исходная концен- трация, мг/дм ³		Массовая доля в осадке, %	
			Cu ²⁺	Zn ²⁺	Cu	Zn
УГОК	Станция нейтрализации шахтных, подотвальных и дебалансных вод	15	220	510	1.2-0.7	1.5-5.2
	Очистные сооружения шахтных вод	7.2	5.4	20.3	0.1-1.2	1.4-4.5
	Участок флокуляции брикетной фаб-	0.15	500	100	1.6-7.6	1.8-4.0
ММСК	Станция нейтрализации природных и подотвальных вод	1.8	100	130	2.5-8.5	1.8-11
ЛР	Комплекс по очистке шахтных вод	3.5	14.5	740	0.88-1.53	1.8-2.35
ГГОК	Станция нейтрализации кислых подотвальных, карьерных и рудничных вод	3.0	219	160	0.17-0.6	3.79-4.15

*УГОК – Учалинский горно-обогатительный комбинат; ММСК – Медногорский медно-серный комбинат; ЛР – Левихинский рудник; ГГОК – Гайский горно-обогатительный комбинат

Для увеличения массовой доли меди почти в 2 раза, а цинка в 1.3–1.4 раза [7] используется рециркуляция шламов. Металлы распределяются равномерно по объёму шлама, поэтому невозможно выделение обособленных раскристаллизованных фаз. До настоящего времени проблема утилизации шламов нейтрализации, которые относятся к весьма труднообогащаемому сырью, не решена, эффективная технология их переработки не создана.

Переработку подобных отходов рекомендуется проводить по схемам, включающим сернокислотное выщелачивание, последующую цементацию меди и реагентное осаждение цинка. Однако высокая массовая доля (до 35%) карбоната кальция в шламах приводит к значительным удельным расходам серной кислоты, что делает переработку нерентабельной [7]. Большое содержание непрореагировавшего нейтрализующего агента делает шламы по своей природе более химически устойчивыми [8]. Возникает необходимость выбора между стойкостью осадка к воздействию кислот и качеством очистки в результате снижения расхода щелочного реагента.

Более целесообразным является получение селективных металлсодержащих продуктов на стадии предпочистки кислых вод [9, 10]. Для получения селективных продуктов и извлечения меди и цинка из подотвальных вод нами выбраны известные методы гидролитического осаждения, сульфидного осаждения и цементации. Селективное выделение металлов сульфидным осаждением апробировано на модельных растворах с концентрацией металлов не более 100 мг/дм³. Однако на реальных водах, с более высокими концентрациями меди и цинка на фоне высокого солесодержания, сульфатной жёсткости более 100 ммоль·экв/дм³ и значительного количества железа (III), селективное выделение металлов не изучено.

4. Объекты и методы

Исследования проводились на шламах *газоочистных систем* доменных печей ОАО «Магнитогорского металлургического комбината» (ОАО «ММК»), а также на *подотвальных водах Тарньерского месторождения и осадках их нейтрализации*. Элементный состав изучен с применением химического анализа «мокрой химией». Изучение фазового состава осадков и продуктов переработки шламов проводилось с применением электронной микроскопии и метода рентгенофазового анализа. Технологические решения разрабатывались на основе результатов лабораторного эксперимента по магнитной сепарации, флотации, осаждению, цементации, проводимых на реальных объектах.

5. Результаты

Результаты изучения структурных и физических характеристик *шламов, поступающих из газоочистных систем* доменных печей ОАО «ММК» показали, что шламы представлены классом менее 0.071 мм на 80–90 % и имеют достаточно высокую магнитную восприим-

чивость $2.36 \cdot 10^{-5}$ м³/кг. Основные компоненты химического состава в порядке убывания их содержания в %: Fe_{общ} 48.9-53.1; SiO₂ 5.8-7.1, CaO 2.8-3.2; Al₂O₃ 1.95-2.2; MgO 1.1-1.4; P 0.02-0.03; S_{общ} 0.30-0.44; C_{общ} 9.8-14.5; Zn 0.86-1.8. Электронно-микроскопическими исследованиями установлено присутствие в доменных шламах железосодержащих зёрен гематита (Fe₂O₃) правильной призматической формы, зёрен коксика, мелких некристаллических зёрен цинкита (ZnO) и феррита цинка (ZnO*Fe₂O₃).

На стадии поисковых исследований установлено, что магнитная сепарация шламов не позволяет значимо снизить содержание цинка в магнитном продукте, но приводит к значительным потерям железа с немагнитными фракциями (25–26%) ввиду нахождения части железа в форме слабомагнитных разностей. Разделение в гравитационных процессах не эффективно из-за близких значений плотностей магнетита, франклинита и гематита. В режиме прямой анионной флотации шламов с использованием оксигидрильного собирателя выход пенного продукта 72–78% при снижении массовой доли цинка с 2.73 до 2.48–2.64%. Наилучшие результаты обесцинкования получены с применением обратной катионной флотации.

Предложенная технологическая схема включает флотацию с последующей перечисткой пенного продукта и магнитной сепарацией камерного продукта. Достигнутые показатели комплексной переработки железозинксодержащих доменных шламов по разработанной технологии приведены на **рис. 1**. Обесцинкование шламов с получением двух востребованных металлсодержащих продуктов (железесодержащего концентрата с $\beta_{Fe} = 60-62\%$, $\beta_{Zn} = 0.4-0.45\%$ и цинкового промпродукта с $\beta_{Zn} = 7-8\%$) обеспечивается комбинированием обратной катионной флотации (собиратель – реагент Флон на основе солей алифатических аминов в изопропиловом спирте) и мокрой магнитной сепарации в поле напряженностью 115 кА/м [11].

Осадок нейтрализации подотвальных вод месторождения Тарньер представляет собой пасту, которая состоит преимущественно из гипса и гидроксидов железа, является плохотреннирующей, отдаёт воды с кислотным значением pH. Паста содержит в себе до двух массовых процентов меди и до восьми массовых процентов цинка на сухое вещество. Разделение полученного осадка с извлечением меди и цинка гидрометаллургическим методом является сложной задачей, поэтому изучена возможность получения селективных металлсодержащих продуктов на стадии предпочистки кислых вод. Изучена возможность получения медь- и цинксодержащих осадков методами контролируемого по pH осаждения известкованием, цементацией меди на железном скрапе, сульфидным осаждением в разных для меди и цинка областях pH. В ходе лабораторных исследований определены области изменения параметров процессов, при которых могут быть получены осадки, удовлетворяющие трём критериям: массовая доля ценного компонента в осадке на уровне промпродуктов или концентратов, показатели извлечения и селективности.

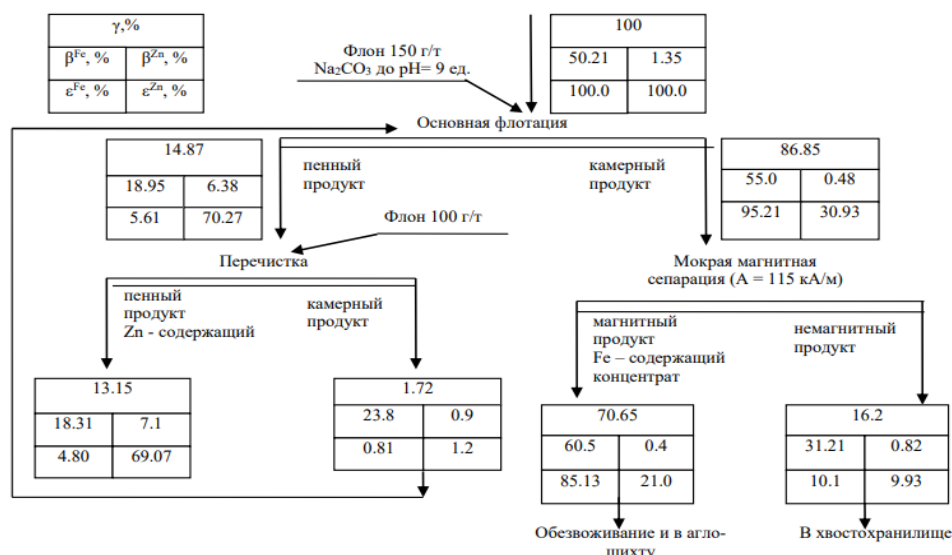


Рис. 1. Технологическая схема и показатели переработки железоцинксоодержащей пыли
 Fig. 1. Technological scheme and indicators of iron-zinc dust processing

Известкование. Из подотвальных вод месторождения Тарньер может быть выделен осадок с преобладанием цинка в границах pH 4.75–6.5. Массовая доля цинка в опытах составила 17.93 и 17.03%. Осадок, полученный при доведении pH до 4.7, имеет невысокую массовую долю меди – менее 1.2%. С этим осадком теряется 16.6–18.0% цинка. Результат воспроизводится.

Гидросульфидное осаждение. Из подотвальных вод могут быть выделены:

- медьсодержащий осадок $\beta_{Cu} = 13.9\text{--}30.47\%$, $\epsilon_{Cu} = 65.81\text{--}81.34\%$ при расходе реагента-осадителя 115% от стехиометрического на восстановление Fe^{3+} и осаждение меди и подкисления серной кислотой до значений pH 1.8–2;
- цинксодержащий осадок $\beta_{Zn} = 22.12\text{--}37.76\%$, $\epsilon_{Zn} = 53.89\text{--}74.6$ при расходе реагента-осадителя 125% от стехиометрического на осаждение цинка.

Рентгеноструктурным анализом шламов, полученных при двухстадийном сульфидном осаждении, являются смесью минералов сульфидов и сульфатов тяжёлых металлов, элементной серы, сульфатов кальция, магнезия и алюминия.

Цементация – сульфидное осаждение. Осадок цементной меди, удовлетворяющий четырём технологическим критериям (расход железа, массовая доля меди в осадке, извлечение, селективность) получен при продолжительности цементации 5 минут и скорости вращения барабана-цементатора 36 об/мин. Показатели цементационного извлечения: $\beta_{Cu} = 18.64\%$, $\epsilon_{Cu} = 88.84\%$, удельный расход железа 3.9 г/дм³ (4.7 г/т). При осаждении цинка из обезжелезеного и осветлённого слива цементатора получен осадок $\beta_{Zn} = 24.32\%$, $\epsilon_{Zn} = 63.71\%$ при расходе реагента-осадителя 125% от стехиометрического на осаждение цинка.

Экономический анализ предлагаемых технологических решений показал, что наибольшая доля эксплуатационных затрат приходится на статью расходов

«материалы» и составляет в структуре затрат для подотвальных вод 75–78%. Наибольшая доля затрат на материалы приходится на статью «гидросульфид натрия» и в структуре затрат составляет 78–88%.

Стоимость тонны цинка в концентрате практически равна стоимости тонны применяемых сульфидных реагентов в пересчёте на чистое вещество. По стехиометрии на извлечение 1 т цинка тратится 0.86 т гидросульфида натрия, то есть сульфидное осаждение цинка при сложившемся соотношении цен является экономически нецелесообразным. Получение балансовой прибыли от реализации медьсодержащего продукта при переработке подотвальных вод достигается в результате исключения стадии извлечения цинка.

6. Заключение

В результате выполненных исследований установлено:

- применяемые в настоящее время технологические решения переработки шламов в абсолютном большинстве случаев характеризуются низкими показателями ресурсосбережения, невысокой рентабельностью и повторным образованием отходов;
- для выбора схем переработки шламов необходима минералого-технологическая оценка техногенного сырья;
- наиболее оправданными и целесообразными для металлургического производства являются технологические решения по использованию образующихся техногенных отходов на самом металлургическом производстве в рамках организации производственного рециклинга;
- для эффективной и комплексной переработки и максимальной утилизации шламов пылеулавливающих установок могут быть адаптированы традиционные обогатительные процессы и получены продукты кондиционного качества;

- для эффективного использования в процессах рециклинга металлов шламов реагентного осаждения требуется получение на начальной стадии очистки вод селективных металлсодержащих осадков с высокой массовой долей целевого металла.

Список литературы

1. Семячков А.И., Балашенко В.В., Косолапов О.В. Эколого-экономическая оценка техногенно-минеральных образований. Екатеринбург: Институт экономики УрО РАН, 2009. 196 с. ISBN 978-5-94646-203-7.
2. Остапенко П.Е. Обогащение руд. М.: Недра, 1977. 274 с.
3. Степин Г.М., Мкртчян Л.С., Довлядов И.В., Борщевский И.К. Проблемы цинка в доменном производстве // *Металлург*. 2001. № 10. С. 39–42.
4. Зубков А.А., Шуленина З.М. Технология утилизации шламов станций нейтрализации кислых рудничных вод // *Маркшейдерия и Недропользование*. 2010. № 2. С. 21–29.
5. Медяник Н.Л., Мунтяну О.В., Строкань А.М. Осадки нейтрализации кислых техногенных вод медно-колчеданных месторождений и методы их исследования // *Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал)*. 2008. № 7. С. 370–374.
6. McDonald D. M., Webb J. A., Musgrave R. J. The Effect of Neutralization Method and Reagent on the Rate of Cu and Zn Release from Acid Rock Drainage Treatment Sludges // *Journal American Society of Mining and Reclamation*. 2006. Vol. 2006. No. 2. pp. 1198-1220. <https://www.doi.org/10.21000/JASMR06021198>.
7. Зайнуллин Х.Н., Бабков В.В., Закиров Д.М., Чулков А.Н., Иксанова Е.М. Утилизация осадков сточных вод гальванических производств. М.: Издательский дом “Руда и металлы”, 2003. 272 с. ISBN 5-8216-0040-5.
8. McDonald D. M., Webb J. A., Taylor J. Chemical Stability of Acid Rock Drainage Treatment Sludge and Implications for Sludge Management // *Environmental science & technology*. 2006. Vol. 40. No. 6. pp. 1984-1990. <https://www.doi.org/10.1021/es0515194>.
9. Шадрунова И.В., Орехова Н.Н. Эколого-экономические аспекты комплексной переработки техногенного гидроминерального сырья // *Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал)*. 2014. № S1. С. 161–179.
10. Бикбаева Г.А., Орехова Н.Н., Куликова Е.А. Применение клинкера в комплексной технологии переработки техногенных стоков горно-металлургических предприятий // *Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И.Носова*. 2013. № 2. С. 22–25.
11. Горлова О.Е., Хасанов Н.И. Возможности и перспективы утилизации железосодержащих отходов Магнитогорского металлургического комбината // *Черная металлургия. Бюллетень научно-технической и экономической информации*. 2013. № 2. С. 112–117.

References

1. Semyachkov A.I., Balashenko V.V. and Kosolapov O.V. 2009. *Ecological and Economic Assessment of Technogenic Mineral Formations*. Yekaterinburg, Institute of Economics, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences. (In Russ.).
2. Ostapenko P.E. 1977. *Ore Enrichment*. Moscow, Nedra. (In Russ.).
3. Stepin G.M., Mkrтчян L.S., Dovlyadov I.V. and Borshcevs kij I.K. 2001. Problems of Zinc in Blast Furnace Process. *Metallurgist*, No. 10, pp. 39–42. (In Russ.).
4. Zubkov A.A. and Shulenina Z.M. 2010. The Technique of Recycling the Sludge Produced by Acidic Mine Water Neutralization Stations. *Mine Surveying and Subsurface Use*, No. 2, pp. 21–29. (In Russ.).
5. Medyanik N.L., Munteanu O.V. and Strokan A.M. 2008. Neutralization Sediments of Acid Technogenic Waters of Copper Pyrite Deposits and Methods of their Study. *Mining informational and analytical bulletin (scientific and technical journal)*, No. 7, pp. 370–74. (In Russ.).
6. McDonald, D. M., Webb, J. A. and Musgrave, R. J. 2006. The Effect of Neutralization Method and Reagent on the Rate of Cu and Zn Release from Acid Rock Drainage Treatment Sludges. *ASMR*, Vol. 2006, No. 2, pp. 1198–220.
7. Zainullin Kh.N., Babkov V.V., Zakirov D.M., Chulkov A.N. and Iksanova E.M. 2003. *Utilization of Sewage Sludge from Galvanic Industries*. Moscow, Publishing House “Ore and Metals”. (In Russ.).
8. McDonald, D. M., Webb, J. A. and Taylor, J. 2006. Chemical Stability of Acid Rock Drainage Treatment Sludge and Implications for Sludge Management. *Environmental science & technology*, Vol. 40, No. 6, pp. 1984–90.
9. Shadrunova I.V. and Orekhova N.N. 2014. Ecological and economic aspects of complex processing of technogenic hydromineral raw materials. *Mining informational and analytical bulletin (scientific and technical journal)*, No. S1, pp. 161–79. (In Russ.).
10. Bikbaeva G.A., Orekhova N.N. and Kulikova E.A. 2013. Clinker Application in Complex Treatment of Technical Sewage of Mining and Metallurgical Facilities. *Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University*, No. 2, pp. 22–25. (In Russ.).
11. Gorlova O.E. and Khasanov N.I. 2013. Opportunities and Prospects for the Disposal of Iron-Containing waste from the Magnitogorsk Iron and Steel Works. *Ferrous Metallurgy. Bulletin of Scientific, Technical and Economic Information*, No. 2, pp. 112–17. (In Russ.).