DOI 10.15593/2409-5125/2017.04.04

УДК 628.396

О.И. Ручкина, К.А. Карелина

Пермский национальный исследовательский политехнический университет

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЖЕЛЕЗИСТОГО ОСАДКА ОЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЙ ШАХТНЫХ ВОД

Рассматривается проблема утилизации железистого осадка, образующегося на очистных сооружениях шахтных вод, на примере расположенных в Ростовской области, на территории одного из крупнейших угольных бассейнов Российской Федерации. В период реструктуризации на территории рассматриваемого угольного бассейна произошла масштабная ликвидация горных выработок. На месте ликвидированных угольных шахт построены водоотливные комплексы и очистные сооружения, эксплуатация которых сопровождается образованием огромного количества осадка. Вследствие высокой концентрации железа в подземных водах в процессе очистки шахтных вод образуется железистый осадок, утилизация которого является основной проблемой на существующих очистных сооружениях. Для определения приоритетного направления использования железосодержащего осадка были проведены лабораторные исследования, включающие определение химического состава исходной шахтной воды и образующегося осадка. Проведен литературный анализ, позволивший выявить возможные направления использования образующегося отхода с учетом его химического состава. В работе представлено обоснование возможности использования железосодержащего осадка в качестве сырьевой базы для выбранных направлений утилизации. Рассмотрены технологические процессы обработки железистого осадка и произведена предварительная экономическая оценка использования отхода очистных сооружений в некоторых отраслях промышленности. Обозначены потенциальные потребители исследуемого отхода. Представлен обзор действующих предприятий, которые в настоящее время в своем производстве используют переработанный продукт в качестве сырьевого материала. В ходе работы были выстроены диалоги с заводами, профилирующиеся на работе с железосодержащими отходами. На основании проведенных исследований, анализа литературных источников и существующей практики в работе показана экономическая и экологическая целесообразность рассмотренных направлений утилизации железистого осадка.

Ключевые слова: шахтные воды, железистый осадок, отходы, строительные конструкции, коагулянт.

На территории Российской Федерации имеются огромные запасы угля. Россия занимает второе место в мире по его запасам. Самыми крупными угольными бассейнами являются: Кузнецкий, Южно-Якутский, Печорский и российская часть Донецкого.

Ручкина О.И., Карелина К.А. Использование железистого осадка очистных сооружений шахтных вод // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Прикладная экология. Урбанистика. – 2017. – № 4. – С. 50–61. DOI: 10.15593/2409-5125/2017.04.04

Ruchkinova O.I., Karelina K.K. Use of ferruginous sludge of mine water treatment plants. PNRPU. Applied ecology. Urban development. 2017. No. 4. Pp. 50-61. DOI: 10.15593/2409-5125/2017.04.04

Наиболее выгодное географическое и геополитическое местоположение имеет российская часть Донецкого угольного бассейна, что обусловлено развитой инфраструктурой Ростовской области и высоким техническим потенциалом.

В период реструктуризации угольной промышленности в России, наступивший в 1993 г., в Ростовской области осуществлено широкомасштабное закрытие угледобывающих предприятий, что привело к серьезным экологическим проблемам, решить которые не удалось до настоящего времени.

В соответствии с разработанной государственной программой «Концепция развития угольной промышленности Ростовской области на период до 2030 года», утвержденной постановлением Правительства Ростовской области от 05.07.2012 № 599 и измененной в редакции постановления от 29.12.2014 № 914, основной проблемой природоохранных объектов является утилизация образующихся осадков на существующих комплексах обработки шахтных вод.

Закрытие угольных шахт привело к затоплению шахтных выработок и выходу шахтных вод на поверхность. В местах законсервированных и ликвидированных горных выработок для снижения воздействия на окружающую среду были построены водоотливные комплексы и очистные сооружения, что способствовало снижению уровня подземных вод в подземных горизонтах, предотвращению провалообразований земной поверхности и предотвратило выход вод на поверхность, однако повлекло за собой негативное экологическое воздействие на водные и земельные ресурсы.

Эксплуатируемые очистные сооружения по очистке шахтных вод основаны на принципе безреагентного очищения. Образующийся осадок в процессе очистки имеет схожий химический состав с исходной шахтной водой, только более концентрированный. Осадок, как и шахтные воды, характеризуется высоким содержанием железа.

Откачка образующегося осадка, долгий период времени производилась в иловые скважины. Ухудшение баланса геологической среды и отрицательное воздействие на природную среду привели к отказу от такого решения. На сегодняшний день производится тампонаж иловых скважин и решается вопрос о дальнейшей трансформации осадка или его вывоза на захоронение [1].

Целью работы является рассмотрение возможных путей использования железистого осадка или альтернативных экономически выгодных решений по его переработке, при минимальном воздействии на окружающую среду.

Основным направлением улучшения экологической ситуации является совершенствование технологических схем предприятий – модернизация систем очистки сбросов, переработка отходов и т.д. Современные природоохранные сооружения для очистки природных вод и изоляции участков

складирования твердых и жидких токсичных отходов требуют больших капитальных затрат, значительных энергетических и материальных ресурсов при их эксплуатации. Перспективным направлением является создание малоотходных технологий. Однако быстрый переход к таким технологиям в нашей стране маловероятен, так как для этого необходимы значительные капиталовложения. В период перехода к малоотходным технологиям возникает задача минимизации техногенного воздействия на окружающую среду [2].

В настоящее время в Ростовской области построено и эксплуатируется 6 водоотливных комплексов и 5 комплексов очистных сооружений.

Очистные сооружения в Ростовской области рассчитаны на прием тысяч кубических метров в сутки шахтных вод. Как было исследовано ранее, изменение технологии очистки является нерентабельным и требует дополнительного финансирования для модернизации схемы очистки и в период дальнейшей эксплуатации. При этом изменение метода очистки и использование реагентов характеризуется большими объемами используемых реагентов и образованием больших объемов отходов [3].

Проблема утилизации железистого осадка остро стоит на территории Кировского техногенного комплекса, расположенного с восточной стороны от г. Новшахтинска. На сегодняшний день на территории Кировского ТГК эксплуатируется 2 очереди очистных сооружений, рассчитанных на суммарный расход более 30 тыс. м³/сут, что превышает в несколько раз производительность других очистных сооружений, построенных на месте ликвидированных угольных шахт в Ростовской области.

Общее количество осадка, образующегося на первой и второй очереди очистных сооружений в процессе окисления железа, в пересчете на сухое вещество составляет порядка 1,24 т/сут, общее количество сырого осадка гидроксида железа $\text{Fe}(\text{OH})_3$ влажностью 96,5 % – 35,43 т/сут, объем осадка – 34,51 м³/сут.

Возможности использования железистого осадка представлены на рисунке.

Рис. Использование железистого осадка [4]

1. *Отходы.* Согласно Федеральному классификационному каталогу отходов железистый осадок отнесен к 4 классу опасности отходов (7 10 241 01 39 4 – «Отходы (осадок) обезжелезивания природной воды методом аэрации и отстаивания»).

В соответствии с Постановлением Правительства РФ от 13 сентября 2016 г. № 913 «О ставках платы за негативное воздействие на окружающую среду и дополнительных коэффициентах», плата за размещение отходов 4 класса опасности составляет 663,2 руб./т, без учета коэффициента, введенного в отношении территорий и объектов, находящихся под особой охраной в соответствии с федеральными законами.

Таким образом, плата за размещение железосодержащего осадка без учета транспортных расходов составит: $\Pi = 12931,95 \cdot 663,2 = 8\,576\,469,24$ руб.

Установлено, что объектом, ближайшим по отношению к очистным сооружениям и имеющим право утилизировать рассматриваемый вид отхода, является ООО «Южный город». Работа ассенизационной машины с цистерной объемом 12 м³ стоит 1890 руб. Для размещения железистого осадка на полигоне захоронения твердых коммунальных отходов организации, эксплуатирующей очистные сооружения, необходимо заплатить свыше 10 млн руб.

2. *Природные материалы.* Материалы из природного сырья получают путем механической обработки, но без изменения первоначального химического состава и структуры. Эти материалы сохраняют основные свойства исходного сырья.

Железистый осадок по своему химическому составу очень разнообразен, использовать его в качестве сырья с сохранением его химического состава и структуры невозможно, по причине высокого содержания солей и высокой минерализации, которые оказывают негативное воздействие на окружающую среду.

Как было отмечено ранее в научных трудах, выход шахтных вод на поверхность земли будет сопровождаться уничтожением растительного слоя, загрязнением почв – снижение плодородности. Коррозионные свойства будет проявлять вышедшая на поверхность вода по отношению к строительным конструкциям: будут разрушаться бетонные и железобетонные конструкции, окисляться металлические изделия.

3. *Химические реагенты.* В процессе подготовки природных вод и обработки хозяйственно-бытовых стоков используют химические реагенты – коагулянты. Коагулянты классифицируются на органические и неорганические. В нашей стране наибольшее распространение получили

неорганические коагулянты, представляющие собой соли алюминия, железа или их смеси и др. [5]. Промышленно выпускаемые неорганические коагулянты на основе железа представлены в табл. 1 [6].

Таблица 1

Коагулянты на основе железа

Наименование коагулянта	Химическая формула	Процессы получения коагулянта
Железо (III) хлорид. Хлорное железо	$\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	<ul style="list-style-type: none"> – Хлорирование стальной стружки при температуре 700 °С. – Побочный продукт при производстве хлоридов металлов горячим хлорированием руд. – Растворение окиси железа в соляной кислоте при повышенной температуре. – Хлорирование суспензией или раствором FeCl_2, или окисление кислородом воздуха хлористого железа. Получаемый раствор FeCl_3 выпаривают до концентрации, при которой он при остывании затвердевает в кристаллический продукт $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$. – Взаимодействие жидкого хлора и железной стружки (ОАО «Каустик» г. Волгоград)
Железо (III) сернокислое. Сернокислая окись железа	$\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 9 \text{H}_2\text{O}$	<ul style="list-style-type: none"> – Растворение оксида железа в серной кислоте. – Окисление серного колчедана азотной кислотой.
Железа (III) хлорсульфат. Хлорированный железный купорос	$\text{Fe}_2(\text{SO}_4)\text{Cl}$	– Обработка раствора железного купороса хлором, вводя на 1 г $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 0,16–0,22 г хлора (в условиях на водоочистных комплексах)
Окисульфат железа (III). Полиоксисульфат железа	$[\text{Fe}(\text{OH})_a(\text{SO}_4)_c]_n$	Данные отсутствуют
Оксихлорид железа (III). Полиоксихлорид железа	$[\text{Fe}(\text{OH})_a\text{Cl}_b]_n$	Данные отсутствуют
Железа (II) сернокислое. Железный купорос	$\text{FeSO}_4 \cdot 7 \text{H}_2\text{O}$	<ul style="list-style-type: none"> – Растворение железа в серной кислоте (в настоящее время утратил свое значение). – Из травильных растворов

Соли железа, как коагулянты, имеют ряд преимуществ по сравнению с солями алюминия: более широкий диапазон оптимальных значений pH и солевого состава обрабатываемой воды, лучшее действие при низких температурах, большая прочность и гидравлическая крупность хлопьев. К недостаткам коагулянтов относятся: корродирующее действие раствора

на аппаратуру, менее развитая поверхность хлопьев, образование с органическими соединениями сильно окрашенных растворимых комплексов [7].

В России применение железосодержащих коагулянтов не развито, что объясняется рядом причин, однако эти коагулянты применяют за рубежом при хороших технико-экономических показателях. Наибольшее распространение получили железосодержащие коагулянты в Финляндии [8].

Говоря о стремлении промышленности в современных условиях перейти на безотходное производство, доступнее будет развивать метод получения железного купороса из травильных растворов. При обработке (травлении) серной кислотой стальных изделий с целью удаления с них окалина (окислов) железа перед дальнейшей обработкой поверхности применяют разбавленную 20–25%-ную серную кислоту. Кристаллический железный купорос может быть выделен из травильных растворов при охлаждении их до $-5 \dots -10$ °С или выпаркой с последующей кристаллизацией при охлаждении до 20–25 °С. Можно также производить высаливание железного купороса из травильной жидкости серной кислотой и после отделения кристаллического осадка возвращать маточный раствор на травление железа. Обычно выделение железного купороса из травильных растворов производят охлаждением их воздухом (водой) или в вакуум-кристаллизационных установках.

В настоящее время такой способ получения сульфата железа используется на российских предприятиях ОАО «Северсталь» (Вологодская обл.), ООО «ВИЗ-Сталь», ОАО «Ревдинский метизный завод» (Свердловская обл.), ОАО «Волжский трубный завод» (Волгоградская обл.), которые также являются поставщиками коагулянта за рубеж.

Для возможности определения использования железистого осадка в качестве сырья для получения коагулянта на основе железа были отобраны пробы осадка с очистных сооружений в Ростовской области. Отобранные пробы были высушены на воздухе. Химический состав осадка после сушки представлен в табл. 2. Исследования проводились в научно-исследовательской лаборатории «Системы и технологии воды» ПНИПУ. Сушка осадка производилась с целью упрощения транспортирования осадка в реальных условиях, а также снижения материальных затрат на транспортные расходы.

Высушенный осадок в сравнении с исходной шахтной водой более концентрированный: концентрация сульфатов в осадке в 4,4 раза превышает концентрацию сульфатов в шахтной воде, концентрация хлоридов – в 16,2 раза, концентрация железа – в 88 раз. Содержание железа и солей железа в высушенном осадке значительно больше.

Таблица 2

**Химический состав исходной шахтной воды
и железистого осадка после сушки**

Показатель	Ед. изм.	Исходная шахтная вода	Результат	Нормативный документ на метод испытания
Солесодержание водный раствор	мг/л	3500	3659,0	ПНД Ф 141:2.114-97
Сульфаты	мг/кг	1700	7500	ПНД Ф 16.2.2:2.3.71-2011 с использованием фотометра Spectroguan Nova 60
Хлориды	мг/кг	210	3400	
Железо	мг/кг	20	1760	
Кальций	мг/кг	410	36000	
Магний	мг/кг	190	700	
Натрий	мг/кг	220	1400	

Результаты лабораторных исследований позволили предположить, что железистый коагулянт более рентабельно получать из высушенного осадка.

По данным химической лаборатории, осуществляющей свою деятельность на очистных сооружениях в Ростовской области, содержание железа в железистом осадке в зависимости от времени года составляет 30–37 %. Следовательно, в высушенном осадке содержание железа также будет изменяться.

Таким образом, возможность использования осадка, образующегося на очистных сооружениях, в качестве сырьевой базы для получения коагулянта способствует уменьшению материальных затрат при его захоронении и увеличению потенциальной возможности получения прибыли за счет продажи осадка предприятиям, специализирующимся на производстве коагулянтов на основе железа и его солей.

4. *Строительные материалы.* Железистый осадок, образующийся на очистных сооружениях, состоит из минералов, включающих в себя около 15–20 химических элементов. В образовании осадка большую роль играют карбонаты [9]. По литературным источникам наиболее распространены направления переработки железистого осадка в технологии строительных материалов являются:

- сырье для получения чугуна и стали;
- сырье для получения химических реактивов;
- при получении пигментов;
- при производстве адсорбентов;
- при синтезе искусственных фильтрующих материалов;
- при производстве строительных материалов (бетона, керамзита).

Получение из осадка определенного продукта потребления на производстве подразумевает многоступенчатый технологический процесс, что связано с его сложным химическим составом. Целесообразно предположить, что одним из доступных и простых способов использования железосодержащего осадка является получение пигментов, используемых в строительных материалах.

В настоящее время железоксидные пигменты широко используются в России и за рубежом. Производство железосодержащих пигментов постоянно совершенствуется, исследуются новые технологии производства, при упрощенной схеме обработки осадка, содержащего железо [10]. Основная цель российских производств – минимизировать расходы на процесс обработки железосодержащего осадка и получить пигмент должного качества.

Пигмент представляет собой дисперсное вещество, которые придают готовому изделию окрас, не растворяются в дисперсных средах, а также способность при взаимодействии с пленкообразующими компонентами давать декоративно-защитные покрытия [11]. По происхождению пигменты подразделяются на органические и минеральные, по способу получения – искусственные и природные. Пигменты, в которых присутствуют оксиды или гидроксиды железа, получили название железоксидные.

Железоксидные пигменты обладают рядом преимуществ: широкая цветовая гамма; высокая окрашивающая способность; хорошая химическая стойкость; устойчивость к климатическим условиям. Железоксидные пигменты характеризуются низкой стоимостью и обладают токсикологической безопасностью. Такие пигменты получили широкое распространение при окрашивании строительных материалов и различных покрытий, их применяют на производстве оксидных тонеров для керамики, принтеров и др.

На практике было доказано, что использование пигментов с другими веществами оказывают положительную динамику на свойства бетона. Данный факт был подтвержден ЗАО «Челябинский завод ЖБИ-1», где из железосодержащего осадка был получен железоксидный пигмент желтого цвета, который использовался при изготовлении тротуарной плитки.

Высокую прочность и морозостойкость, а также хорошие декоративные свойства готовым изделиям придает пигмент, при его добавлении в количестве 10 % в пересчете на оксиды. Посредством опытов было доказано, что добавление пигмента способствует повышению плотности цементного камня, понижает концентрацию растворимых соединений, снижает высолообразование на 35–50 %.

Оксид железа в сравнении с другими органическими пигментами обладает значительным преимуществом, что выражается в термической стабильности при переработке полимеров [11].

На сегодняшний день основная доля пигментов ввозится в Россию из-за рубежа (Германия, Чехия, Китай). Данный факт обусловлен дороговизной технологий получения пигментов.

Согласно научной литературе, железооксидный пигмент получают при термическом разложении исходного солянокислого раствора при температуре сгорания горючего газа в воздухе 480–750 °С с последующей промывкой пигмента паровым конденсатом [12, 13].

На практике был установлен способ получения сурикоподобного пигмента из железосодержащего осадка [14].

Кроме возможного использования железосодержащего осадка при производстве пигментов, с помощью современных технологий из обезвоженного осадка, образующегося при очистке шахтных вод, возможно получение ценных товарных продуктов, таких как натрий в виде NaCl или NaOH, кальций в виде CaCl₂ или Ca(OH)₂, магний в виде MgCl₂ или MgO₂ [15].

Данные продукты относятся к основным группам неорганических вяжущих веществ в современном строительстве. Эти вещества используют для изготовления бетонов, штукатурных и кладочных растворов, а также различных изделий и сооружений.

Использование железистого осадка в других технологиях производства строительных материалов является малорентабельным, что обусловлено применением многоступенчатой системой обработки осадка. Использование иной сырьевой базы будет менее затратным и снизит себестоимость готового продукта.

Закключение. На основании литературного обзора и лабораторных испытаний установлено:

- утилизация осадка на полигонах захоронения твердых коммунальных отходов сопровождается большими финансовыми затратами;
- железистый осадок не является природным материалом, его использование в первоначальной форме не представляется возможным из-за высокого солесодержания и проявления корродирующих свойств ;
- химический состав железистого осадка удовлетворяет требованиям, предъявляемых к сырьевым материалам для получения коагулянта;
- железистый осадок возможно подвергнуть обработке, которая будет способствовать его использованию в технологии производства строительных материалов, основным направлением использования железистого осадка является получение пигментов, которые зарекомендовали себя на рынке сбыта.

Библиографический список

1. Лукашевич О.Д., Барская И.В. Экологические проблемы обработки и утилизации осадков сточных вод // *Экология промышленного производства*. – 2007. – № 3. – С. 68–75.
2. Максимович Н.Г. Инновационная составляющая природоохранных технологий на основе геохимических барьеров // *Инновационный потенциал естественных наук: тр. междунар. науч. конф.* – Т. II. Экология и рациональное природопользование. – Пермь, 2006. – С. 54–59.
3. Ручкина О.И., Карелина К.А. Модернизация технологической схемы очистки шахтных вод // *Успехи современной науки. Сер.: Строительство и архитектура*. – 2016. – № 8. – С. 46–48.
4. Станкевич К.С., Усова К.С., Лукашевич О.Д. Выделение и утилизация отходов водоподготовки Томского водозабора // *Использование и охрана природных ресурсов в России*. – 2010. – № 3. – С. 12–15.
5. Драгинский В.Л., Алексеева Л.П., Гетманцев С.В. Коагуляция в технологии очистки природных вод. – М., 2005. – 571 с.
6. Обзор рынка неорганических коагулянтов в России и Казахстане. Отчет Объединения независимых экспертов в области минеральных ресурсов металлургии и химической промышленности / «Инфомай» – исследовательская группа. – М., 2015. – URL: <http://www.infomine.ru/research> (дата обращения: 20.07.2017).
7. Кульский Л.А., Накорчевская В.Ф. Химия воды. – Киев: Высшая школа, 1983. – 111 с.
8. Сироткина Е.Е., Погадаева Н.И., Фуфаева М.С. Криогель-сорбент на основе поливинилового спирта и железосодержащего осадка для удаления нефти и фенола из воды // *Изв. Том. политехн. ун-та*. – 2010. – Т. 317, № 3: Химия. – С. 49–53.
9. Янин Е.П. Основные направления утилизации железосодержащего осадка водопроводных станций // *Научные и технические аспекты охраны окружающей среды*. – 2012. – № 6. – С. 60–71.
10. Утилизация железистых шламов водоочистки в технологии строительных материалов: моногр. / В.А. Лотов, О.Д. Лукашевич, Н.Т. Усова. – Томск: Изд-во Том. гос. арх.-стр. ун-та, 2014. – 139 с.
11. Беленький Е.Ф., Рискин И.В. Химия и технология пигментов. – Л.: Химия, 1974. – 656 с.
12. Пат. 2495823 Рос. Федерация, МПК 51 C01B 33/32. Способ получения жидкого стекла из силиката натрия / С.С. Ефименко, Б.А. Соколов; заявл. 10.09.2011; опубл. 20.10.2013.
13. Болгару К.А. Технология получения железосодержащих композитов на силикатной матрице методом СВЧ и их каталитические свойства: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.17.11 / Том. гос. ун-т. – Томск, 2015. – 22 с.
14. Проблемы очистки подземных вод для питьевого водоснабжения и пути их решения в Западно-Сибирском регионе / В.В. Дзюбо, Л.И. Алферова, В.И. Черкашин // *Изв. вузов. Строительство*. – 1998. – № 2. – С. 94–99.
15. Леконцев Е.В. Комплексно-модифицированные битумные мастики и вибролитые смеси с повышенными эксплуатационными свойствами для ремонта покрытий строительных сооружений: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.23.05 / Рос. гос. стр. ун-т. – Ростов н/Д, 2013. – 24 с.

References

1. Lukashevich O.D., Barskaia I.V. Ekologicheskie problemy obrabotki i utilizatsii osadkov stochnykh vod [Ecological problems of treatment and utilization of sewage sludge]. *Ekologiya promyshlennogo proizvodstva*, 2007, no. 3, pp. 68-75.
2. Maksimovich N.G. Innovatsionnaya sostavlyayushchaya prirodookhrannykh tekhnologii na osnove geokhimicheskikh bar'erov [Innovative component of environmental technologies based on geochemical barriers]. *Innovatsionnyi potentsial estestvennykh nauk. Tom II. Ekologiya i ratsional'noe prirodopol'zovanie*. Perm, 2006, pp. 54-59.
3. Ruchkinova O.I., Karelina K.A. Modernizatsiya tekhnologicheskoi skhemy ochistki shakhtnykh vod [Modernization of the technological scheme for cleaning mine water]. *Uspekhi sovremennoi nauki. Ser.: Stroitel'stvo i arkhitektura*, 2016, no. 8, pp. 46-48.
4. Stankevich K.S., Usova K.S., Lukashevich O.D. Vydelenie i utilizatsiya otkhodov vodopodgotovki Tomskogo vodozabora [Separation and utilization of water treatment waste of Tomsk water intake]. *Ispol'zovanie i okhrana prirodnykh resursov v Rossii*, 2010, no. 3, pp. 12-15.

5. Draginskii V.L., Alekseeva L.P., Getmantsev S.V. Koagulyatsiia v tekhnologii ochistki prirodnnykh vod [Coagulation in the technology of natural water purification]. Moscow, 2005. 571 p.
6. Obzor rynka neorganicheskikh koagulyantov v Rossii i Kazakhstane [Overview of the market of inorganic coagulants in Russia and Kazakhstan]. Otchet Ob"edineniia nezavisimykh ekspertov v oblasti mineral'nykh resursov metallurgii i khimicheskoi promyshlennosti. Infomain – issledovatel'skaia gruppа – 2015. <http://www.infomine.ru/research> (accessed 20 July 2017).
7. Kul'skii L.A., Nakorchevskaiia V.F. Khimiia vody [Chemistry of water]. Kiev: Vysshaia shkola, Golovnoe izdatel'stvo, 1983, pp. 111.
8. Sirotkina E.E., Pogadaeva N.I., Fufaeva M.S. Kriogel'-sorbent na osnove polivinilovogo spirta i zhelezosoderzhashchego osadka dlia udaleniia nefi i fenola iz vody [Cryogel-sorbent on the basis of polyvinyl alcohol and iron-containing sediment for removal of oil and phenol from water]. *Izvestiia Tomskogo politekhnicheskogo universiteta*, 2010, vol. 317, no. 3, pp. 49-53.
9. Ianin E.P. Osnovnye napravleniia utilizatsii zhelezosoderzhashchego osadka vodoprovodnykh stantsii [The main directions of utilization of iron-containing sludge of water supply stations]. *Nauchnye i tekhnicheskie aspekty okhrany okruzhaiushchei sredy*, 2012, no. 6, pp. 60-71.
10. Lotov V.A., Lukashevich O.D., Usova N.T. Utilizatsiia zhelezistykh shlamov vodoochistki v tekhnologii stroitel'nykh materialov [Utilization of ferruginous sewage sludge in the technology of building materials]. Tomsk: Izd-vo Tom. gos. arkh.-stroit. un-ta, 2014, 139 p.
11. Belen'kii E.F., Riskin I.V. Khimiia i tekhnologiia pigmentov [Chemistry and Technology of Pigments]. L.: Khimiia, 1974, 656 p.
12. Efimenko S.S., Sokolov B.A. Sposob polucheniia zhidkogo stekla iz silikata natriia [A method for producing a liquid glass from sodium silicate]. Patent Rossiiskaia Federatsiia no. 2495823 (2013).
13. Bolgaru K.A. Tekhnologiia polucheniia zhelezosoderzhashchikh kompozitov na sialonovoi matritse metodom SVS i ikh kataliticheskie svoistva [The technology of obtaining iron-containing composites on a sialonic matrix by the SHS method and their catalytic properties]. Abstract of Ph. D. thesis. Tomsk, 2015, 22 p.
14. Dziubo V.V., Alferova L.I., Cherkashin V.I. Problemy ochistki podzemnykh vod dlia pit'evogo vodosnabzheniia i puti ikh resheniia v Zapadno-Sibirskom regione [Problems of groundwater purification for drinking water supply and ways of their solution in the West Siberian region]. *Izv. vuzov. Stroitel'stvo*, 1998, no. 2, pp. 94–99.
15. Lektovskii E.V. Kompleksno-modifitsirovannye bitumnyie mastiki i vibrolitnye smesi s povyshennymi ekspluatatsionnymi svoistvami dlia remonta pokrytii stroitel'nykh sooruzhenii [Complex-modified bituminous mastics and vibro-cast mixtures with improved performance properties for the repair of coatings for building structure]. Abstract of Ph. D. thesis. Rostov-na-Donu, 2013, pp. 22-24.

Получено 20.03.2017

O. Ruchkinova, K. Karelina

THE USE OF FERRUGINOUS SLUDGE OF MINE WATER TREATMENT PLANTS

In this paper the problem of recycling of ferrous sludge generated at the treatment facilities of mine waters is considered. Treatment facilities of mine waters was examined in the Rostov region on the territory of which one of the largest coal basins of the Russian Federation is located. In the conversion period a large-scale liquidation of mine workings took place on the territory of the considered coal basin. On the site of the liquidated coal mines there were built drainage systems and wastewater treatment plants, the operation of which is accompanied by generation of huge amount of sewage sludge. Due to the high concentrations of iron in groundwater, in the process of purification of mine

waters ferruginous sludge is formed, disposal of which is a major problem at the existing treatment facilities. To determine priorities for the use of iron-containing sludge laboratory studies has been conducted, including determination of the chemical composition of the original mine water and the sludge. The performed literature analysis helped to identify possible areas of utilization of generated waste, taking into account its chemical composition. In the paper a feasibility study of the use of iron-bearing sludge as a raw material base for the selected areas of recycling is presented. Technological processes of processing of ferrous sludge and preliminary economic assessment of the use of waste of wastewater treatment facilities in some industries has been considered. The potential consumers of the investigated waste are determined and an overview of the existing enterprises using currently in its production the recycled product as a raw material is presented. In the course of the work dialogues with the factories profiled in working with iron-containing waste have been arranged. On the basis of the conducted survey and the analysis of the literature and current practices, in the paper economic and environmental feasibility of the considered directions of recycling of ferrous sludge is shown.

Keywords: Mine waters, ferruginous sludge, waste, building construction, coagulant.

Ручкина Ольга Ивановна (Пермь, Россия) – д-р техн. наук, профессор, заведующая кафедрой «Теплогоснабжение, вентиляция и водоснабжение, водоотведение», Пермский национальный исследовательский политехнический университет (614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29, e-mail: ygogax@mail.ru).

Карелина Кристина Александровна (Пермь, Россия) – магистрант кафедры «Теплогоснабжение, вентиляция и водоснабжение, водоотведение», Пермский национальный исследовательский политехнический университет (614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29, e-mail: Karelina_Kristina93@mail.ru).

Ruchkinova Olga (Perm, Russian Federation) – Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department "Heat Supply, ventilation and water supply, sewerage", Perm National Research Polytechnic University (614990, Perm, Komsomolsky av., 29, e-mail: ygogax@mail.ru).

Karelina Kristina (Perm, Russian Federation) – Undergraduate student, Perm National Research Polytechnic University (614990, Perm, Komsomolsky av., 29, e-mail: Karelina_Kristina93@mail.ru).