



DOI: 10.22363/2313-2310-2025-33-3-328-341

EDN: RZLBTD

УДК 628.54

Научная статья / Research article

Совершенствование технологий утилизации гальванических шламов

Е.С. Сергеев^{ID}, А.М. Геннадьева^{ID}✉, Д.В. Богачук^{ID},
С.З. Калаева^{ID}, О.П. Филиппова^{ID}

*Ярославский государственный технический университет (ЯГТУ), Ярославль,
Российская Федерация*
✉gennadivalena@gmail.com

Аннотация. Сохранение качества окружающей среды является одной из приоритетных задач человечества. Антропогенная деятельность привела к накоплению огромного количества промышленных отходов, которые природа не способна использовать, в результате чего они наносят ей непоправимый вред. В данном исследовании рассмотрена проблема образования и накопления гальванических шламов и предлагаются пути их утилизации: получение антикоррозионных и дорожных покрытий, а также магнитной жидкости для очистки сточных вод от нефтепродуктов. В результате реализации указанных технологий негативное воздействие отходов снижается, а их ценные компоненты вторично используются.

Ключевые слова: антикоррозионное покрытие, дорожное покрытие, магнетит, магнитная жидкость, сточная вода, нефтепродукты

Вклад авторов. *Сергеев Е.С., Геннадьева А.М., Богачук Д.В.* – проведение исследования, анализ результатов исследования, создание рукописи и ее редактирование; *Калаева С.З., Филиппова О.П.* – руководство исследованием, анализ результатов исследования, создание рукописи и ее редактирование. Все авторы ознакомлены с окончательной версией статьи и одобрили ее.

История статьи: поступила в редакцию 24.01.2025; доработана после рецензирования 27.03.2025; принята к публикации 12.04.2025.

Заявление о конфликте интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

© Сергеев Е.С., Геннадьева А.М., Богачук Д.В., Калаева С.З., Филиппова О.П., 2025



This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License
<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/legalcode>

Для цитирования: Сергеев Е.С., Геннадьева А.М., Богачук Д.В., Калаева С.З., Филиппова О.П. Совершенствование технологий утилизации гальванических шламов // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. 2025. Т. 33. № 3. С. 328–341. <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2025-33-3-328-341>

Improvement of galvanic sludges utilization technologies

Egor S. Sergeev^{}, Alena M. Gennadyeva^{}✉, Dmitry V. Bogachuk^{},
Sahiba Z. Kalaeva^{}, Olga P. Filippova^{}

Yaroslavl State Technical University, Yaroslavl, Russian Federation

✉gennadivalena@gmail.com

Abstract. Preserving the quality of the environment is one of humanity's priority tasks. Man-made activities have led to the accumulation of an enormous amount of industrial waste, which nature is unable to use, causing irreparable harm. This study considers the problem of formation and accumulation of galvanic slags and proposes ways to recycle them: production of anticorrosive and road pavements, as well as magnetic fluid for purification of waste water from petroleum products. As a result of implementing the specified technologies, the negative impact of the waste is reduced and its valuable components are reused.

Keywords: galvanic sludge, anticorrosion coating, road coating, magnetite, magnetic fluid, wastewater, oil products

Authors' contribution. *E.S. Sergeev, A.M. Gennadyeva, D.V. Bogachuk* – investigation, analyse study data, writing – review and editing; *S.Z. Kalaeva, O.P. Filippova* – supervision, analyse study data, writing – review and editing. All authors have read and approved the final version of the manuscript.

Article history: received 24.01.2025; revised 27.03.2025; accepted 12.04.2025.

Conflicts of interest. The authors declare no conflicts of interest.

For citation: Sergeev ES, Gennadyeva AM, Bogachuk DV, Kalaeva SZ, Filippova OP. Improvement of galvanic sludges utilization technologies. *RUDN Journal of Ecology and Life Safety*. 2025;33(3):328–341. (In Russ.) <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2025-33-3-328-341>

Введение

В процессе промышленного производства образуется значительное количество опасных отходов, накопление которых представляет серьезную проблему для окружающей природной среды. На состав и свойства таких отходов существенное влияние оказывает технологический процесс получения целевого продукта, вследствие чего не существует «универсального» способа их утилизации. К тому же в большинстве случаев такие отходы содержат в своем составе высокотоксичные компоненты, ликвидация которых крайне

актуальна из-за снижения самоочищающей способности природы. Перспективным способом предотвращения отрицательного влияния отходов на окружающую среду и здоровье населения является их утилизация в народном хозяйстве.

Одними из наиболее опасных промышленных крупнотоннажных отходов являются гальванические шламы (гальваношламы). Это токсичные отходы пастообразного вида, образующиеся в ходе очистки сточных вод, преимущественно электрохимических и машиностроительных производств. Данные отходы разнообразны по консистенции, составу, физическому состоянию и природе происхождения.

Главная опасность гальваношламов (ГШ) в том, что они являются поставщиками тяжелых металлов, которые имеют тенденции к накоплению в пищевых цепочках и практически не выводятся из организма. В составе ГШ преобладают ионы трехвалентного железа Fe^{3+} , находящиеся в виде гидроксида трехвалентного железа $Fe(OH)_3$, вследствие чего их относят к отходам II-III класса опасности [1-4].

ГШ в большинстве случаев не перерабатываются в востребованные продукты, а изолируются от окружающей среды: складировются на территории «предприятий-поставщиков» данных отходов, подвергаются захоронению или, что недопустимо, вывозятся на несанкционированные свалки. Для правильного захоронения ГШ полигоны должны быть оборудованы в соответствии с СП 127.13330.2023, чего в настоящее время не наблюдается в большинстве регионов России. К тому же при высыхании ГШ переходит из состояния суспензии в твердое сыпучее состояние, что запрещено нормами СанПиН 2.1.3684-21. Все это приводит к возникновению источников вторичного загрязнения окружающей среды тяжелыми металлами [5].

Материалы и методы

На базе кафедры «Охрана труда и природы» ФГБОУ ВО «ЯГТУ» уже существуют наработки в области технологий утилизации данных токсичных отходов. Авторами представлены способы их доработки и совершенствования.

Основной сложностью работы с отходами является непостоянство их химического состава, даже в пределах одного производственного процесса. Поэтому перед использованием ГШ был определен их химический состав, представленный в табл. 1. Химический состав ГШ был определен стандартизированными аналитическими методами и методом рентгенофлуоресцентной спектроскопии на приборе Skyaу EDX6000В (рис. 1, 2). Были использованы отходы двух предприятий, на которых реализуется электрокоагуляционная очистка сточных вод: АО «Ярославский завод дизельной аппаратуры» (ЯЗДА) и АО «Судостроительный завод „Вымпел“» (СЗЗ «Вымпел»).

Таблица 1. Химический состав гальванических шламов

Показатель	Значение, %		Метод определения
	ЯЗДА	СЗЗ «Вымпел»	
Влажность	78,81 ± 1,58	67,91 ± 1,36	ГОСТ 21119.1-75
Содержание органических веществ	4,01 ± 0,08	4,52 ± 0,09	ГОСТ 21119.1-75
Содержание минеральных веществ, а именно:	17,17 ± 0,34	27,57 ± 0,55	–
веществ, растворимых в воде	2,00 ± 0,04	0,07 ± 0,01	ГОСТ 21119.2-75
веществ, нерастворимых в соляной кислоте	3,30 ± 0,07	4,15 ± 0,08	ГОСТ 30550-98
Fe ₂ O ₃	51,99 ± 1,04	36,20 ± 0,72	По данным прибора Skyray EDX6000B
ZnO	3,49 ± 0,07	2,86 ± 0,06	
CaO	9,01 ± 0,09	5,33 ± 0,11	
CuO	0,02 ± 0,0004	0	
Cr ₂ O ₃	1,29 ± 0,03	0,54 ± 0,01	
NiO	0,15 ± 0,003	0	

Источник: составлено Е.С. Сергеевым, А.М. Геннадьевой, Д.В. Богачуком, С.З. Калаевой, О.П. Филипповой.

Table 1. Chemical composition of galvanic sludges

Characteristic	Value, %		Test method
	YaZDA	SZZ «Vympel»	
Humidity	78.81 ± 1.58	67.91 ± 1.36	GOST 21119.1-75
Organic content	4.01 ± 0.08	4.52 ± 0.09	GOST 21119.1-75
Inorganic content, namely:	17.17 ± 0.34	27.57 ± 0.55	–
Water-soluble substances	2.00 ± 0.04	0.07 ± 0.01	GOST 21119.2-75
Substances insoluble in hydrochloric acid	3.30 ± 0.07	4.15 ± 0.08	GOST 30550-98
Fe ₂ O ₃	51.99 ± 1.04	36.20 ± 0.72	Based on the results of the analysis on Skyray EDX6000B
ZnO	3.49 ± 0.07	2.86 ± 0.06	
CaO	9.01 ± 0.09	5.33 ± 0.11	
CuO	0.02 ± 0.0004	0	
Cr ₂ O ₃	1.29 ± 0.03	0.54 ± 0.01	
NiO	0.15 ± 0.003	0	

Source: compiled by E.S. Sergeev, A.M. Gennadyeva, D.V. Bogachuk, S.Z. Kalaeva, O.P. Filippova.

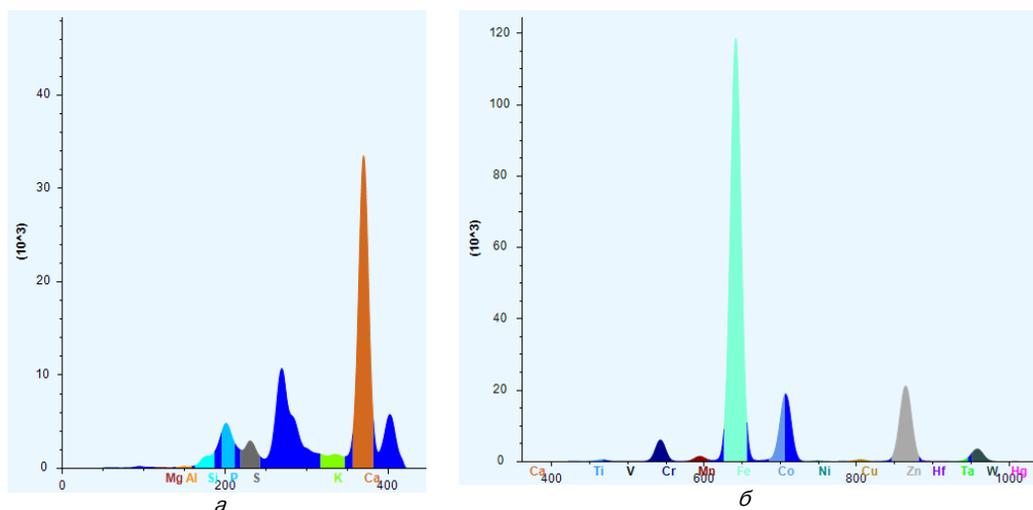


Рис. 1. Спектр содержания «легких» (а) и «тяжелых» (б) элементов в ГШ ЯЗДА

Источник: составлено Е.С. Сергеевым, А.М. Геннадьевой, Д.В. Богачуком, С.З. Калаевой, О.П. Филипповой.

Figure 1. The spectrum of the content of «light» (a) and «heavy» (b) elements in galvanic sludge of YAZDA

Source: compiled by E.S. Sergeev, A.M. Gennadyeva, D.V. Bogachuk, S.Z. Kalaeva, O.P. Filippova.

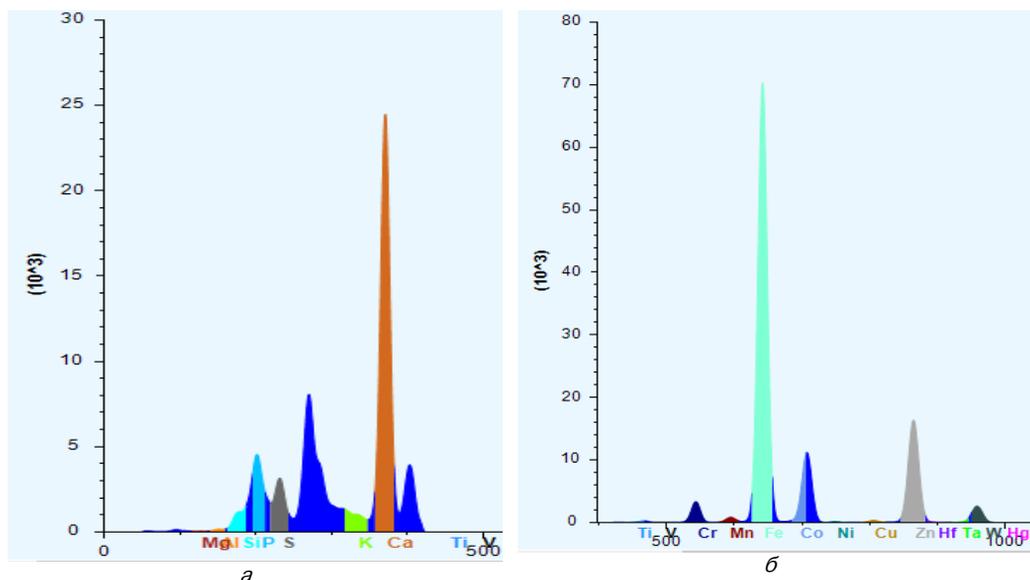


Рис. 2. Спектр содержания «легких» (а) и «тяжелых» (б) элементов в ГШ СЗЗ «Вымпел»

Источник: составлено Е.С. Сергеевым, А.М. Геннадьевой, Д.В. Богачуком, С.З. Калаевой, О.П. Филипповой.

Figure 2. The spectrum of the content of "light" (a) and "heavy" (b) elements in galvanic sludge of SZZ "Vypel"

Source: compiled by E.S. Sergeev, A.M. Gennadyeva, D.V. Bogachuk, S.Z. Kalaeva, O.P. Filippova.

Предлагается использование представленных ГШ для получения временных антикоррозионных и дорожных покрытий, а также сорбентов для объемной очистки сточных вод от нефтепродуктов – магнитных жидкостей (МЖ). Временные антикоррозионные покрытия были испытаны по ГОСТ 9.080-77, дорожные покрытия – по ГОСТ 12801-98. Полученные образцы МЖ были охарактеризованы с помощью физических и физико-химических методов анализа (с использованием ИК-Фурье спектрометра RX (Perkin Elmer) с приставкой НПВО Spectrum Two, в интервале частот $400\text{--}4000\text{ см}^{-1}$). Концентрация нефтепродуктов в воде определялась флуориметрическим методом на аппарате «Флюорат-02».

Результаты и обсуждение

Антикоррозионное покрытие было получено с использованием ГШ ЯЗДА. Так как в его состав входит значительное количество железа, данный отход можно применять в качестве железосодержащего компонента для приготовления антикоррозионного пигмента методом ферритизации – дисперсной фазы антикоррозионного покрытия. Получаемый пигмент не уступает промышленным аналогам, а наличие в составе гальваношламов ионов различных тяжелых металлов, а именно хрома и цинка усиливает его коррозионную стойкость [6]. В качестве дисперсионной среды используется жидкое стекло по ГОСТ 13078-81. Таким образом, получаемое антикоррозионное покрытие будет являться аналогом силикатной краски со всеми ее преимуществами.

Данное антикоррозионное покрытие получено на основе отхода, поэтому рационально его применять лишь для временной консервации, а его силикатная основа позволяет конкретизировать сферу использования данного покрытия – для временной консервации колес железнодорожного состава в периоды его простоя или ремонта. На основе проведенных экспериментов [7] наиболее эффективным является покрытие, состоявшее на 30 % из пигмента и на 70 % из жидкого стекла. Вследствие предполагаемой среды эксплуатации защитное действие антикоррозионного покрытия было оценено методом ускоренных испытаний в среде влажного воздуха, дистиллированной воды и 3%-го раствора NaCl при температуре испытания 22–26 °С в течение 72 ч в сравнении с покрытием на основе чистого жидкого стекла и покрытием того же состава, но дисперсная фаза которого получена на основе чистых компонентов (рис. 3). Как видно, антикоррозионное покрытие, полученное на основе отхода, намного эффективнее.

Асфальтобетонное дорожное покрытие было получено с использованием ГШ СЗЗ «Вымпел». Основными компонентами асфальтобетона являются минеральный наполнитель, песок и битумное вяжущее БНД 60/90, количество которых было выбрано в соответствии с ГОСТ 9128-2013. При этом стандартный наполнитель – доломитовая мука – был полностью заменен на ГШ. Так как отход содержит различные токсичные компоненты, для снижения их подвижности была проведена высокотемпературная обработка при температуре 900 °С. Для сравнения прочностных характеристик (табл. 2) были получены образцы асфальтобетонов с использованием в качестве минерального наполнителя доломитовой муки. Можно сделать вывод, что асфальтобетонное покрытие с использованием в качестве минерального наполнителя ГШ весьма эффективно и соответствует нормативной документации.

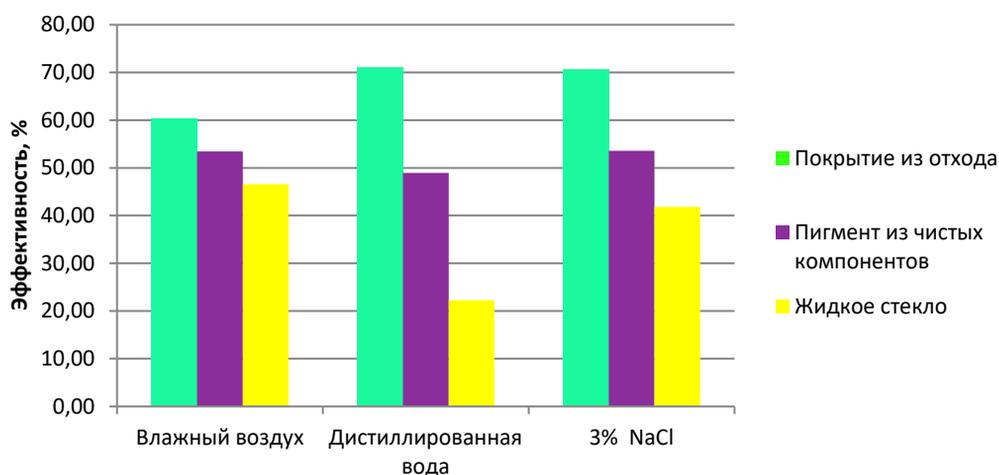


Рис. 3. Эффективность использования антикоррозионных покрытий в различных средах

Источник: составлено Е.С. Сергеевым, А.М. Геннадьевой, Д.В. Богачуком, С.З. Калаевой, О.П. Филипповой.

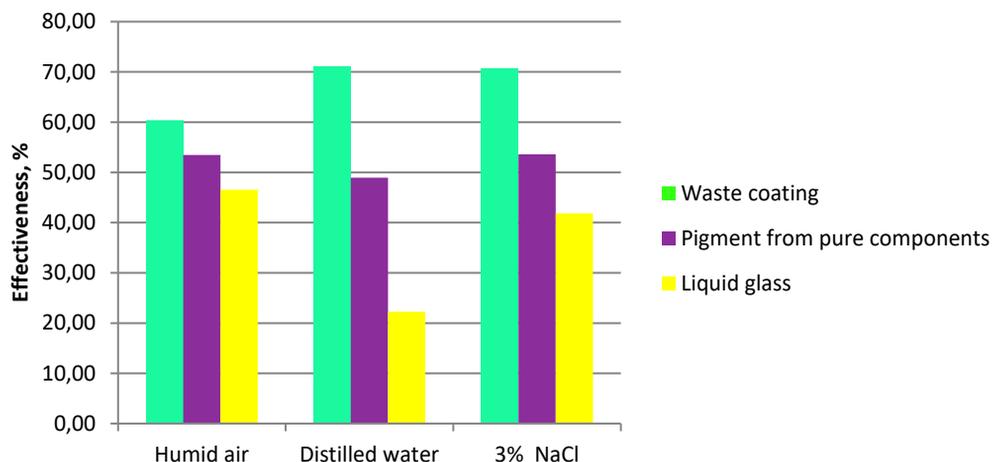


Figure 3. Effectiveness of anticorrosion coatings in different environments

Source: compiled by E.S. Sergeev, A.M. Gennadyeva, D.V. Bogachuk, S.Z. Kalaeva, O.P. Filippova.

Таблица 2. Результаты испытания асфальтобетонного покрытия

Показатель	Асфальтобетонное покрытие		Норма по ГОСТ 9128-2013
	Наполнитель – доломитовая мука	Наполнитель – гальваношлам	
Предел прочности на растяжение при раскалывании, МПа	4,44	5,44	Не менее 2,0
Предел прочности при сжатии, МПа	5,74	5,96	Не менее 2,0
Водоустойчивость, доли	0,81	0,69	Не менее 0,6
Водонасыщение, %	1,06	0,64	0,5 – 2,5

Источник: составлено Е.С. Сергеевым, А.М. Геннадьевой, Д.В. Богачуком, С.З. Калаевой, О.П. Филипповой.

Table 2. Test results of asphalt concrete pavement

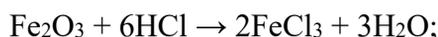
Characteristic	Bituminous surfacing		GOST Standart 9128-2013
	Filler – Dolomite powder	Filler – galvanic sludge	
Tensile strength at splitting, MPa	4.44	5.44	Not less 2.0
Compressive strength, MPa	5.74	5.96	Not less 2.0
Water resistance, percentage	0.81	0.69	Not less 0.6
Water saturation, %	1.06	0.64	0.5 – 2.5

Source: compiled by E.S. Sergeev, A.M. Gennadyeva, D.V. Bogachuk, S.Z. Kalaeva, O.P. Filippova.

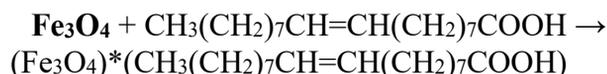
Еще одним направлением применения ГШ является использование их в качестве сырья при синтезе сорбентов – магнитных жидкостей (МЖ) методом химической конденсации, представляющих собой двухфазные коллоидные растворы, состоящие из дисперсной фазы (ферромагнитные или ферримагнитные наночастицы) и дисперсионной среды (керосин), в которой частицы равномерно распределены по всему объему. Из-за магнитных и Ван-дер-Ваальсовых взаимодействий между частицами образуются агрегаты [8]. Чтобы избежать этого, необходимо стабилизировать МЖ с помощью поверхностно-активного вещества (ПАВ), толщина слоя которого должна составлять около 2 нм [9].

Этапы получения МЖ, свойства которых представлены в табл. 3.

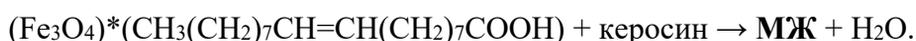
1. Синтез магнетита на основе композита, состоящего из ГШ (см. табл. 1) и отхода травления стальных листов ОАО «Северсталь»:



2. Нагрев суспензии магнетита до 95 °С при постоянном перемешивании. По достижении нужной температуры вводится стабилизатор – олеиновая кислота:



и жидкость-носитель – керосин:



В результате химической реакции образуется коллоидная система, в которой частицы частично растворены в носителе, что обеспечивает их стабильность и возможность манипуляции под воздействием магнитного поля.

Таблица 3. Свойства синтезированных магнитных жидкостей

Сорбент	Отход, использованный в качестве сырья	Намагниченность насыщения, кА/м	Объемная доля магнетита, %	Плотность, кг/м ³
МЖ-1	ЯЗДА	15,83	5,44	985
МЖ-2	СЗЗ «Вымпел»	14,21	5,12	960
МЖ-3	Чистые компоненты	18,31	6,3	996

Источник: составлено Е.С. Сергеевым, А.М. Геннадьевой, Д.В. Богачуком, С.З. Калаевой, О.П. Филипповой.

Table 3. Properties of synthesized magnetic fluids

Sorbent	Waste used as raw materials	Saturation magnetization, kA/m	Magnetite volume fraction, %	Density, kg/m ³
MF-1	YaZDA	15.83	5.44	985
MF-2	SZZ «Vypel»	14.21	5.12	960
MF-3	Pure components	18.31	6.3	996

Source: compiled by E.S. Sergeev, A.M. Gennadyeva, D.V. Bogachuk, S.Z. Kalaeva, O.P. Filippova.

Исходя из данных табл. 3, параметры МЖ, синтезированных из ГШ, практически соответствуют параметрам МЖ, полученной из чистых компонентов.

Для уточнения состава МЖ из ГШ были сняты их инфракрасные спектры (рис. 4, 5). Показано, что полосы поглощения от 558 до 721 см⁻¹ соответствуют колебанию связей Fe–O в кристаллической решетке магнетита (Fe₃O₄). Также присутствуют полосы поглощения, характерные для олеиновой кислоты и керосина.

Полученные МЖ можно использовать, например, для объемной очистки воды от нефтепродуктов (НП) [10]. Исследование эффективности очистки воды проводилось с использованием устройства, описанного в патенте РФ № 2602566 [11].

В процессе исследования была изучена эффективность очистки воды в зависимости от соотношения объема МЖ к НП, при заданной скорости потока загрязненных вод, равной 0,02 м/с, значения которой представлены на рис. 4.

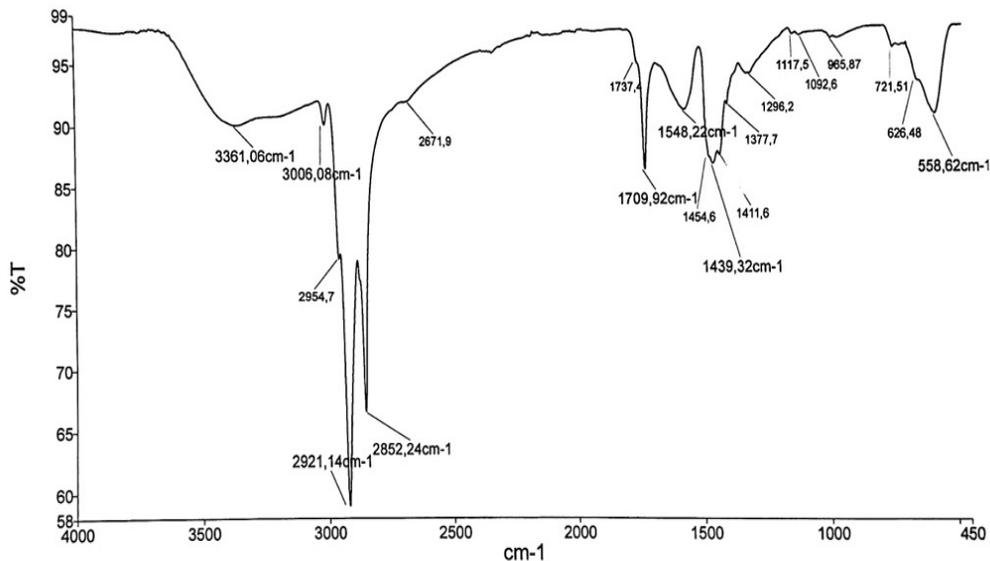


Рис. 4. Инфракрасный спектр МЖ, полученной из отхода ЯЗДА

Источник: составлено Е.С. Сергеевым, А.М. Геннадьевой, Д.В. Богачуком, С.З. Калаевой, О.П. Филипповой.

Figure 4. Infrared spectrum of MF obtained from YaZDA waste

Source: compiled by E.S. Sergeev, A.M. Gennadyeva, D.V. Bogachuk, S.Z. Kalaeva, O.P. Filippova.

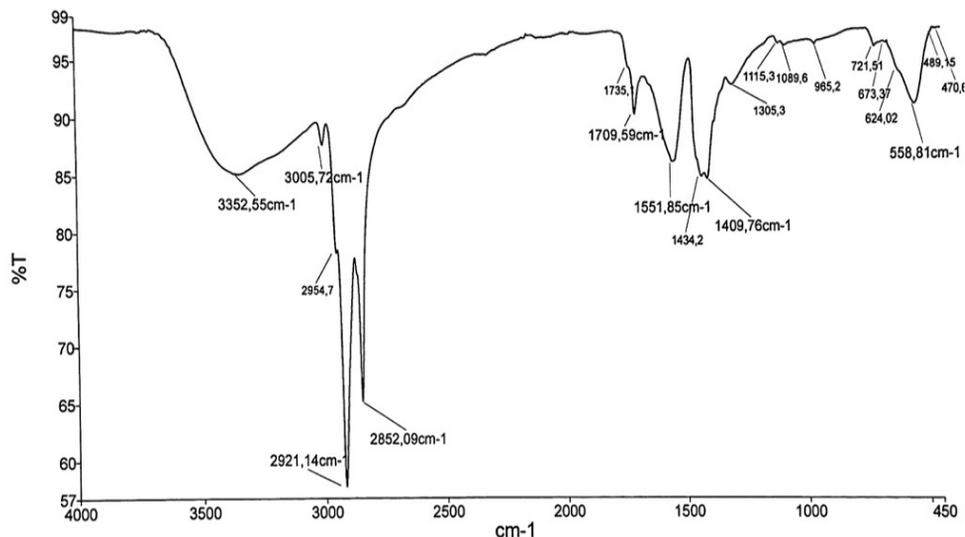


Рис. 5. Инфракрасный спектр МЖ, полученной из отхода СЗЗ «Вымпел»

Источник: составлено Е.С. Сергеевым, А.М. Геннадьевой, Д.В. Богачуком, С.З. Калаевой, О.П. Филипповой.

Figure 5. Infrared spectrum of MF obtained from the waste of SZZ "Vympel"

Source: compiled by E.S. Sergeev, A.M. Gennadyeva, D.V. Bogachuk, S.Z. Kalaeva, O.P. Filippova.

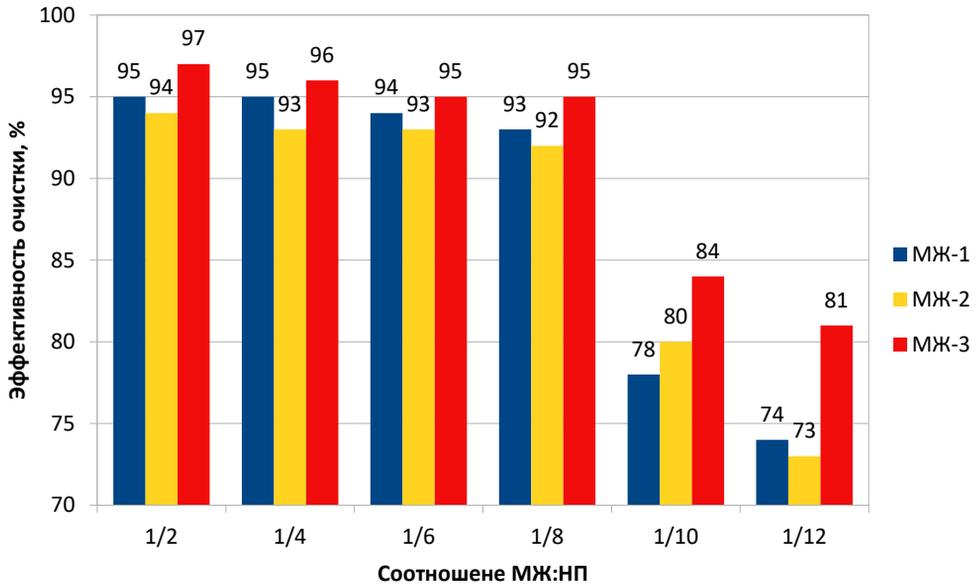


Рис. 6. Диаграмма зависимости эффективности очистки воды от соотношения МЖ:НП

Источник: составлено Е.С. Сергеевым, А.М. Геннадьевой, Д.В. Богачуком, С.З. Калаевой, О.П. Филипповой.

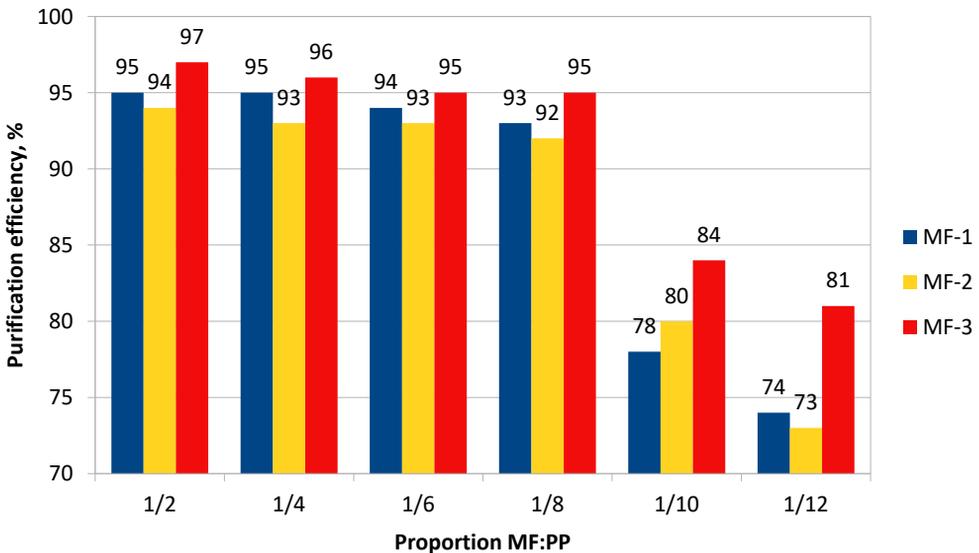


Figure 6. Diagram of dependence of water purification efficiency on the proportion MF:PP

Source: compiled by E.S. Sergeev, A.M. Gennadyeva, D.V. Bogachuk, S.Z. Kalaeva, O.P. Filippova.

Таким образом, при объемной очистке сточной воды от НП наиболее приемлемое (рациональное) соотношение МЖ : НП = 1 : 8, при этом степень очистки составляет около 93 %. Такой процесс происходит с минимальными затратами энергии и без нанесения вреда окружающей среде.

Выводы

Гальванические шламы являются одними из наиболее опасных отходов производства, представляющих опасность как для окружающей среды, так и для здоровья человека, но обладающих рядом полезных свойств. Поэтому крайне необходимо грамотно осуществлять процесс их утилизации.

Получение в результате рассматриваемых процессов продуктов утилизации отхода позволит решить не только экологические задачи, но также экономические и эксплуатационные, так как сырье на основе отходов имеет меньшую стоимость, по сравнению с сырьем на основе чистых компонентов, а основные технические характеристики продуктов при этом остаются на том же уровне или даже имеют лучшие значения.

Так, эффективность коррозионной защиты металлических изделий с помощью покрытий, где действующим веществом является антикоррозионный пигмент, полученный на основе ГШ, составляет примерно 60–70 % в рассматриваемых средах, в то время как использование аналогичных покрытий, но с действующим веществом на основе чистых компонентов обеспечивает эффективность защиты примерно на уровне 50–60 %. Асфальтобетонные покрытия, в которых наполнитель полностью заменен на прокаленный ГШ, обладают на 22,5 % большим пределом прочности на растяжение при раскалывании и на 3,8 % большим пределом прочности при сжатии, при этом на 17,4 % меньшей водоустойчивостью и на 65,6 % меньшим водонасыщением по сравнению с асфальтобетонным покрытием, в котором используется стандартный наполнитель – доломитовая мука. МЖ, полученная на основе ГШ, практически идентична по своим параметрам МЖ из чистых компонентов, а ее применение для объемной очистки воды от НП обеспечивает эффективность очистки 93 %.

Список литературы

- [1] *Ольшанская Л.Н., Лазарева Е.Н., Татаринцева Е.А., Арефьева О.А., Яковлева Е.В., Симонова З.А.* Гальваношламы – источник вторичных материальных ресурсов при получении пигментов-наполнителей для лакокрасочных изделий // Теоретическая и прикладная экология. 2023. № 2. С. 89–95. DOI: 10.25750/1995-4301-2023-2-089-095. EDN: GXRDOA
- [2] *Моняк Т.М., Кульбицкая Л.В., Романовский В.И.* Анализ перспектив использования отходов гальванических производств // Вестник Полоцкого государственного университета. Серия F. Строительство. Прикладные науки. 2020. № 16. С. 96–102. EDN: LCUZZ
- [3] *Ольшанская Л.Н., Булкина Л.А., Лазарева Е.Н., Шайхиев И.Г.* Технологические аспекты извлечения токсичных металлов из гальваноотходов для вторичного применения // Вестник Казанского технологического университета. 2014. Т. 17, № 7. С. 195–198. EDN: SCNLTL
- [4] *Мосталыгина Л.В., Костин А.В., Шерстобитов Г.С., Прокопьева Е.А., Мосталыгин А.Г., Бирюков М.Ф.* Изучение качественного состава гальванического отхода от

- очистки гальванической ванны и возможностей его обезвреживания // Вестник Курганского государственного университета. Серия: Технические науки. 2014. № 2 (33). С. 88–90. EDN: STBKVF
- [5] *Сергеев Е.С., Филиппова О.П.* Проблема хранения гальванических шламов и пути ее решения // Производственные системы будущего: опыт внедрения Lean и экологических решений : материалы международной научно-практической конференции, Кемерово, 2022 / под ред. Т.В. Галаниной, М.И. Баумгартэна. Кемерово: Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева, 2022. С. 526.1–526.6. EDN: GHKCFV
- [6] *Сергеев Е.С., Филиппова О.П.* Исследование влияния примесей тяжелых металлов на антикоррозионную активность пигментов, полученных из отходов гальванических производств // Семьдесят четвертая всероссийская научно-техническая конференция студентов, магистрантов и аспирантов высших учебных заведений с международным участием : сборник материалов конференции. Том 1. Часть 1. Ярославль, 2021. Ярославль : Ярославский государственный технический университет, 2021. С. 271–274. EDN: TYNJKM
- [7] Патент № 2776953 С1, Российская Федерация, МПК С10М 77/00 (2006.01), С09С 1/00 (2006.01), С09С 3/04 (2006.01). Способ получения силикатной пластичной смазки : заявл. 24.05.2021 ; опубл. 29.07.2022 / Филиппова О.П., Сергеев Е.С. ; патентообладатель : Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Ярославский государственный технический университет». № 2021114536. Бюл. № 22.
- [8] *Новопашин С.А., Серебрякова М.А., Хмель С.Я.* Методы синтеза магнитных жидкостей (обзор) // Теплофизика и аэромеханика. 2015. Т. 22, № 4. С. 411–427. EDN: UCCEGP
- [9] *Пучков П.В.* К вопросу о возможности применения магнитных жидкостей в качестве смазочного материала в узлах трения машин и механизмов // NovaInfo.Ru. 2018. Т. 1, № 78. С. 95–99 EDN: YNZDIE
- [10] *Геннадьева А.М., Калаева С.З., Филиппова О.П., Петропавловская В.Б., Кузнецова Г.М.* Технология очистки воды от нефтепродуктов с использованием магнитных жидкостей из промышленных отходов // Проблемы сбора, подготовки и транспорта нефти и нефтепродуктов. 2024. № 3 (149). С. 191–203. <https://doi.org/10.17122/nj-oil-2024-3-191-203> EDN: NWCLGJ
- [11] Патент № 2602566 С1, Российская Федерация, МПК С02F 1/48(2006.01), С02F 1/40(2006.01). Способ очистки воды от нефтепродуктов с помощью магнитной жидкости и устройство его реализации : заявл. 06.04.2015 ; опубл. : 20.11.2016 / Страдомский Ю.И., Морозов Н.А.; патентообладатель : Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина». № 2015112535/05. Бюл. № 30.

References

- [1] Olshanskaya LN, Lazareva EN, Tatarintseva EA, Arefeva OA, Yakovleva EV, Simonova ZA. Galvanic sludge is a source of secondary material resources in the production of filler pigments for paints and varnishes. *Theoretical and Applied Ecology*. 2023;(2):89–95. (In Russ.). DOI: 10.25750/1995-4301-2023-2-089-095 EDN: GXRDOA
- [2] Monak TM, Kulbitskaia LV, Romanovski VI. Analysis of the perspectives of use of electroplating industry waste. *Herald of Polotsk State University. Series F. Civil Engineering. Applied Sciences*. 2020;(16):96–102 (In Russ.). EDN: LCYUZZ

- [3] Olshanskaya LN, Bulkina LA, Lazareva EN, Shajhiev IG. Technological aspects of the extraction of toxic metals from galvanic waste for secondary use. *Herald of Technological University*. 2014;17(7):195–198 (In Russ.). EDN: SCNLTL
- [4] Mostalygina LV, Kostin AV, Sherstobitov GS, Prokopeva EA, Mostalygin AG, Biryukov VF. A profile analysis of the galvanic waste sludge formed in cleaning a plating bath and the possibilities of its treatment. *Bulletin of the Kurgan State Agricultural Academy. Series: Technical Sciences*. 2014;(2):88–90 (In Russ.). EDN: STBKVF
- [5] Sergeev ES, Filippova OP. The problem of accumulation of galvanic sludges and ways to solve it. In: *Materials of the International scientific and practical conference “Production systems of the future: experience in implementing Lean and environmental solutions”*. Galanina TV, Baumgarten MI (ed.). Kemerovo: T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University; 2022. p. 526.1–526.6 (In Russ.). EDN: GHKCFV
- [6] Sergeev ES, Filippova OP. Study of the influence of impurities of heavy metals on the anti-corrosion activity of pigments obtained from waste of galvanic productions. In: *Collection of materials of “The seventy-fourth All-Russian Scientific and Technical conference of students, undergraduates and postgraduates of higher educational institutions with international participation”*. Yaroslavl: Yaroslavl State Technical University; 2021;(1). p. 271–274 (In Russ.).
- [7] Filippova OP, Sergeev ES. Patent RF no 2776953 C1, IPC C10M 77/00 (2006.01), C09C 1/00 (2006.01), C09C 3/04 (2006.01). *Method for producing silicate-based plastic lubricant*: announced 24.05.2021; published 29.07.2022. Federal State-Funded Educational Institution of Higher Professional Education “Yaroslavl State Technical University”. No. 2021114536, Bulletin 22 (In Russ.).
- [8] Novopashin SA, Serebryakova MA, Khmel SY. Methods of magnetic fluid synthesis (review). *Thermophysics and Aeromechanics*. 2015;22(4):411–427 (In Russ.). EDN: UCECGP
- [9] Puchkov PV. On the application of magnetic fluids as a lubricant in friction units of machines and mechanisms. *NovalInfo.Ru*. 2018;(1):95–99 (In Russ.). EDN: YNZDIE
- [10] Gennadyeva AM, Kalaeva SZ, Filippova OP, Petropavlovskaya VB, Kuznetsova GM. Technology of water treatment from oil products using magnetic liquids from industrial waste. *The Problems of Gathering, Treatment and Transportation of Oil and Oil Products*. 2024;(3):191–203. (In Russ.). <https://doi.org/10.17122/ntj-oil-2024-3-191-203> EDN: NWCLGJ
- [11] Stradomsky YI, Morozov NA. Patent RF no 2602566 C1, IPC C02F 1/48 (2006.01), C02F 1/40 (2006.01). *Method of purifying water from oil products by means of magnetic fluid and device for its implementation*: announced 06.04.2015; published 20.11.2016. Federal State-Funded Educational Institution of Higher Professional Education “Ivanovo State Power Engineering University Lenin VI”. No. 2015112535/05, Bulletin 30 (In Russ.).

Сведения об авторах:

Сергеев Егор Сергеевич, аспирант, Ярославский государственный технический университет, Российская Федерация, 150023, г. Ярославль, Московский пр-т, д. 88. ORCID: 0009-0005-2781-6258; eLIBRARY SPIN-код: 9447-7287. E-mail: egorsergeev45@mail.ru

Геннадьева Алена Максимовна, аспирант, Ярославский государственный технический университет, Российская Федерация, 150023, г. Ярославль, Московский пр-т, д. 88. ORCID: 0000-0002-3006-9637; eLIBRARY SPIN-код: 1977-7312. E-mail: gennadivalena@gmail.com

Богачук Дмитрий Викторович, магистрант, Ярославский государственный технический университет, Российская Федерация, 150023, г. Ярославль, Московский пр-т, д. 88. ORCID: 0009-0006-0657-9334. E-mail: dbogachuk@inbox.ru

Калаева Сахиба Зияддин кзы, доктор технических наук, доцент, заведующая кафедрой «Охрана труда и природы», Ярославский государственный технический университет, Российская Федерация, 150023, г. Ярославль, Московский пр-т, д. 88. ORCID: 0000-0002-9889-8669; eLIBRARY SPIN-код: 5046-6473. E-mail: kalaevasz@mail.ru

Филиппова Ольга Павловна, доктор технических наук, доцент, профессор кафедры «Охрана труда и природы», Ярославский государственный технический университет, Российская Федерация, 150023, г. Ярославль, Московский пр-т, д. 88. ORCID: 0009-0009-5561-6316; eLIBRARY SPIN-код: 8901-4377. E-mail: filippovaop@ystu.ru

Bio notes:

Egor S. Sergeev, Postgraduate Student, Yaroslavl State Technical University, 88 Moskovsky prospect, Yaroslavl, 150023, Russian Federation. ORCID: 0009-0005-2781-6258; eLIBRARY SPIN-code: 9447-7287. E-mail: egorsergeev45@mail.ru

Alena M. Gennadyeva, Postgraduate Student, Yaroslavl State Technical University, 88 Moskovsky prospect, Yaroslavl, 150023, Russian Federation. ORCID: 0000-0002-3006-9637; eLIBRARY SPIN-code: 1977-7312. E-mail: gennadivalena@gmail.com

Dmitry V. Bogachuk, Undergraduate, Yaroslavl State Technical University, 88 Moskovsky prospect, Yaroslavl, 150023, Russian Federation. ORCID: 0009-0006-0657-9334. E-mail: dbogachuk@inbox.ru

Sahiba Z. Kalaeva, Doctor of Engineering Sciences, Associate Professor, Head of Labor and Nature Protection Department, Yaroslavl State Technical University, 88 Moskovsky prospect, Yaroslavl, 150023, Russian Federation. ORCID: 0000-0002-9889-8669; eLIBRARY SPIN-code: 5046-6473. E-mail: kalaevasz@mail.ru

Olga P. Filippova, Doctor of Engineering Sciences, Associate Professor, Professor of Labor and Nature Protection Department, Yaroslavl State Technical University, 88 Moskovsky prospect, Yaroslavl, 150023, Russian Federation. ORCID: 0009-0009-5561-6316; eLIBRARY SPIN-code: 8901-4377. E-mail: filippovaop@ystu.ru