

**ТЕХНОЛОГИЯ ОРГАНИЧЕСКИХ ВЕЩЕСТВ
TECHNOLOGY OF ORGANIC SUBSTANCES**

Научная статья

УДК 628.169.7

DOI: 10.26730/1999-4125-2024-2-24-34

**ПРИМЕНЕНИЕ ТВЕРДЫХ ПРОДУКТОВ ПИРОЛИЗА ИЛОВЫХ ОСАДКОВ
ДЛЯ ОЧИСТКИ ФИЛЬТРАТА ТКО****Киселев Дмитрий Юрьевич, Валеева Айгуль Раисовна,
Валиуллина Альмира Иршатовна, Хазиахмедова Римма Маратовна,
Башкиров Владимир Николаевич, Грачев Андрей Николаевич**

Казанский национальный исследовательский технологический университет

* для корреспонденции: dmskkiselev@gmail.com

**Информация о статье**

Поступила:

13 февраля 2024 г.

Одобрена после
рецензирования:

15 мая 2024 г.

Принята к публикации:

29 мая 2024 г.

Опубликована:

13 июня 2024 г.

Ключевые слова:*иловые осадки, твердые продукты пиролиза, фильтрат ТКО, очистка сточных вод, пиролиз, пиролиз ила, ил сточных вод, очистка фильтрата ТКО***Аннотация.**

Проблема накопления иловых осадков сточных вод является остро актуальной. Один из методов их переработки – пиролиз, который позволяет преобразовать осадки в уголь. Открытость к поиску новых способов использования этого угля стимулирует исследования в области его потенциальных применений. Очистка фильтрата твердых коммунальных отходов (ТКО) также представляет собой важную задачу с точки зрения устранения вредных веществ и минимизации негативного воздействия на окружающую среду. В данной статье рассматривается эффективность очистки дренажной жидкости с ТКО с использованием угля, полученного при пиролизе иловых осадков сточных вод. Эксперименты проведены с целью определения возможности адсорбции вредных веществ и загрязнений с помощью данного угля. В процессе смешивания фильтрата с углем было достигнуто существенное снижение затрат используемого коагулянта для его очистки. Проведенный ситовый анализ показал, что уголь иловых осадков городских сточных вод является мелкодисперсным материалом с высоким содержанием частиц до 70%, находящихся в диапазоне размера сит от 0,16 мм и менее. Проведенные исследования подтвердили его потенциал к сорбционной активности. Исследованы основные свойства угля, такие как зольность, водо- и влагопоглощение, содержание летучих веществ и нелетучего углерода. Эти результаты представляют интерес для разработки устойчивых методов переработки иловых осадков и решения задачи применения продуктов переработки, в том числе в качестве очистных систем дренажных жидкостей ТКО.

Для цитирования: Киселев Д.Ю., Валеева А.Р., Валиуллина А.И., Хазиахмедова Р.М., Башкиров В.Н., Грачев А.Н. Применение твердых продуктов пиролиза иловых осадков для очистки фильтрата ТКО // Вестник Кузбасского государственного технического университета. 2024. № 2 (162). С. 24-34. DOI: 10.26730/1999-4125-2024-2-24-34, EDN: VYVXVX

Введение

Фильтрат твердых коммунальных отходов (ТКО) представляет собой жидкую фракцию, которая образуется в результате процессов хранения и обработки коммунальных отходов, а также в виде продуктов разложения и сточных вод, образующихся при осадках, прошедших

через слои мусора. Этот фильтрат содержит большое количество различных растворенных веществ, что препятствует прямой утилизации данной жидкости путем слива его в канализацию или водоемы. На территории средней полосы РФ каждый гектар, занятый под складирование ТКО, дает ежегодно около 1000 м³

высококонтрированного фильтрата [1]. Актуальность этой проблемы обусловлена следующими факторами:

- фильтрат ТКО содержит различные загрязнения, включая органические и неорганические вещества. Если он попадет в окружающую среду без должной очистки, это может привести к загрязнению почвы, водоемов и подземных вод, а также негативно повлиять на экосистему и здоровье людей;

- многие страны и регионы устанавливают жесткие нормативы и стандарты для очистки сточных вод и управления отходами. Очистка фильтрата ТКО является важным элементом соблюдения этих нормативов.

Из-за вышеупомянутых аспектов, а также растущего интереса к экологической устойчивости актуальность проблемы очистки фильтрата ТКО остается важным вопросом в контексте управления отходами и охраны окружающей среды. На сегодняшний день существует множество различных способов очистки фильтрата ТКО [2]. Самый простой вариант переработки включает рециркуляцию фильтрата обратно на свалку с целью охлаждения поверхности. Используются варианты многоступенчатой очистки для сброса в канализацию или для сброса в местные поверхностные воды. Без предварительной очистки фильтрата до требуемых норм данный сброс запрещен из-за накопления химически опасных соединений (ХОС, тяжелых металлов) [3] [4]. Один из распространенных методов – физико-химическая очистка. Исследования показывают, что фильтрат ТКО может быть подвергнут обработке через флокуляцию, коагуляцию и фильтрацию для удаления твердых частиц и органических загрязнений. Однако такие методы часто требуют применения большого количества химических реагентов и вызывают вопросы по поводу образования вторичных загрязнений. Биологические методы также представляют интерес для очистки фильтрата ТКО. Исследования показывают, что микроорганизмы, такие как бактерии и грибы, могут разлагать органические компоненты в фильтрате и, вероятно, являются одним из самых эффективных способов для удаления азота из фильтрата, что способствует его более эффективной очистке. Дополнительная проблема, возникающая при очистке сточных вод с высокой концентрацией аммиака, таких как фильтрат со свалок [5] [6] или промышленных сточных вод с завода по производству удобрений, мочевины [7] или сточных вод с осадком [8], связана с возникновением токсичности свободного аммиака и свободной азотистой кислоты. Anthonisen и его коллеги [9] определили уровни свободного аммиака и свободной азотистой кислоты, которые являются

ингибирующими для *Nitrosomonas* и *Nitrobacter*. *Nitrosomonas* подавлялись при содержании свободного аммиака от 10 до 150 мг/л в виде N, в то время как *Nitrobacter* подавлялись при концентрациях свободного аммиака от 0,1 до 1,0 мг/л в виде N. Свободная азотистая кислота (неионизированный нитрит) становилась ингибирующей для *Nitrobacter* от 0,22 до 2,8 мг/л.

Среди физических подходов стоит выделить использование мембранных технологий, таких как обратный осмос и ультрафильтрация [10]. Эти методы позволяют эффективно удалять различные загрязнения, включая токсичные вещества и микропластик. Однако такие технологии требуют предварительной обработки фильтрата для удаления органических веществ. Помимо этого, агрессивная среда и сложный состав фильтрата ТКО ведет к ускоренному снижению ресурса мембран и фильтров, используемых при данных технологиях.

В нескольких исследованиях сообщалось об изучении коагуляции – флокуляции для очистки фильтратов со свалок, направленных на оптимизацию производительности, что включает подбор коагулянта и методов исследования, оценку влияния среды (pH) и влияние флокулянта. Обычно для коагуляции используются такие соединения, как $Al_2(SO_4)_3$, $FeSO_4$, $FeCl_3$, использование совместно с флокулянтами способствует ускорению образования и оседания хлопьев. В работе [11] Amokrane и его коллеги утверждают, что использование данного способа приводит к значению химического потребления кислорода (ХПК), равного 10-25% при молодом выщелачивании, а при стабилизированном выщелачивании данное значение было намного выше (50-60%).

Tatsi A.A. и коллеги рассуждают о более высокой эффективности удаления ХПК (75%) для частично стабилизированных (из отстойных бассейнов) фильтратов, чем для молодого (с мест сбора) фильтрата (25-38%). Однако следует отметить, что начальная концентрация ХПК была разной и составляла в среднем 5350 мг/л и 70900 мг/л для частично стабилизированного и молодого фильтрата соответственно [12]. Опираясь на данные этой статьи, можно сделать вывод о том, что частично стабилизированный фильтрат содержит меньше количества загрязнений по сравнению с молодым фильтратом, в частности, значительно уменьшается количество азотосодержащих веществ, что делает биологические способы очистки менее эффективными.

К одним из этапов химико-физико-биологического процесса, применяемых при очистке фильтрата на полигонах, можно отнести процесс адсорбции. Обычно в качестве

адсорбента применяется активированный уголь в виде гранул или порошка. Адсорбция активированным углем уменьшает значение ХПК и извлекает аммиачный азот на 50-70%.

Исходя из этого, можно сказать, что адсорбция активированным углем направлена на удаление тяжелых металлов и органических соединений, таких как АОХ, ПХБ и т.д. [13], которые обладают токсичностью. Процесс адсорбции эффективен при использовании в комплексе с другими методами очистки.

Таким образом, существует ряд методов очистки фильтрата ТКО, каждый из которых имеет свои преимущества и ограничения. Выбор метода очистки зависит от множества факторов, включая степень загрязнения фильтрата, бюджет, доступные ресурсы и экологические требования. Однако уже на данном этапе стоит отметить, что с большой вероятностью требуется многоступенчатая система очистки, связанная с высоким уровнем загрязнения фильтрата ТКО. Дальнейшие исследования в этой области позволят разработать более эффективные и устойчивые методы очистки.

Помимо очистки фильтрата ТКО большой проблемой является переработка иловых осадков сточных вод. Осадок сточных вод (ОСВ) - это остаточный полутвердый материал, который образуется в качестве побочного продукта при очистке промышленных или муниципальных сточных вод. Наличие тяжелых металлов и чрезмерное накопление объемов делает ОСВ опасной для окружающей среды. Ежегодно в России за год образуется примерно 7 млрд тонн отходов, из которых 30 млн тонн составляют осадки сточных вод из очистных сооружений. Только 10% из общего объема ОСВ перерабатываются, и всего 4-6% применяется в виде удобрений в отличие от других стран, где данная практика распространена на более чем 30% случаев [14] [15].

Около 90% иловых осадков сточных вод в России складываются, что вызывает загрязнение окружающей среды и неэффективное использование территорий. Существуют идеи о преобразовании их в биогаз через процессы биологического сбраживания. Но в современных реалиях такая стратегия сталкивается с финансовыми трудностями и неспособностью окупить затраты. Также применяется метод сушки иловых осадков с целью получения топлива или сокращения объема. Однако это решение обременено высоким энергопотреблением для поддержания процесса. Среди новых решений значится технология остеклования, которая, согласно авторам, обладает преимуществами и пригодна для расширения и внедрения на промышленном уровне [16]. Еще одним перспективным методом переработки иловых осадков является пиролиз.

Этот метод имеет несколько преимуществ: высокая эффективность, получение полезных продуктов, значительное уменьшение объема осадков, снижение токсической нагрузки иловых осадков. Данный процесс включает в себя быстрое нагревание и разложение органических компонентов иловых осадков под воздействием высоких температур в отсутствие кислорода. Процесс пиролиза приводит к распаду органических веществ на газы, твердые продукты и жидкость [17].

В статье рассмотрены методы по обработке сточных вод и утилизации отходов. Метод основан на использовании угольных материалов, полученных при пиролизе ила сточных вод как адсорбента для удаления загрязнений из фильтрата ТКО [18].

Исследования в этой области показывают, что уголь, полученный при пиролизе иловых осадков, может обладать некоторой адсорбционной способностью и позволяет убрать такие загрязнения, как органические соединения и тяжелые металлы. Это, в свою очередь, повышает безопасность фильтрата ТКО для окружающей среды. Очищенный фильтрат ТКО может быть использован для полива полигонов ТБО, что позволит избавиться от запаха, образующегося при испарениях, оставшийся уголь может быть использован для восстановления энергии, производства сжигаемых топлив, создания строительных материалов, переработки в химические продукты, утилизации в промышленных процессах или подготовки к безопасной утилизации.

Материалы и методы

Пиролиз проводился на установке FPP 02 [19-21]. Для переработки использовались иловые осадки из городских очистных сооружений. Сухое сырье дозируется питателем в реактор. В реакторе пиролиза происходит механоактивированное термическое разложение сухого сырья в отсутствие кислорода. В результате пиролиза при температуре около 500°C образуются парогазовая смесь и уголь. Парогазовая смесь отводится в энергетический модуль для дожига и поддержания температуры, а уголь собирается. Выход угля составляет 40-42% от массы сухого ила.

Для определения гранулометрического состава использовался ситовый анализатор вибротехник ВП 30Т с набором сит следующего размера: 3.5; 2.5; 1.2; 0.63; 0.315; 0.16; 0.08 мм.

Для исследования сорбционной способности были выбраны три метода:

- по метиленовому оранжевому ГОСТ 4453-74 Уголь активный осветляющий древесный порошкообразный. Технические условия;
- по метиленовому синему ГОСТ 4453-74;

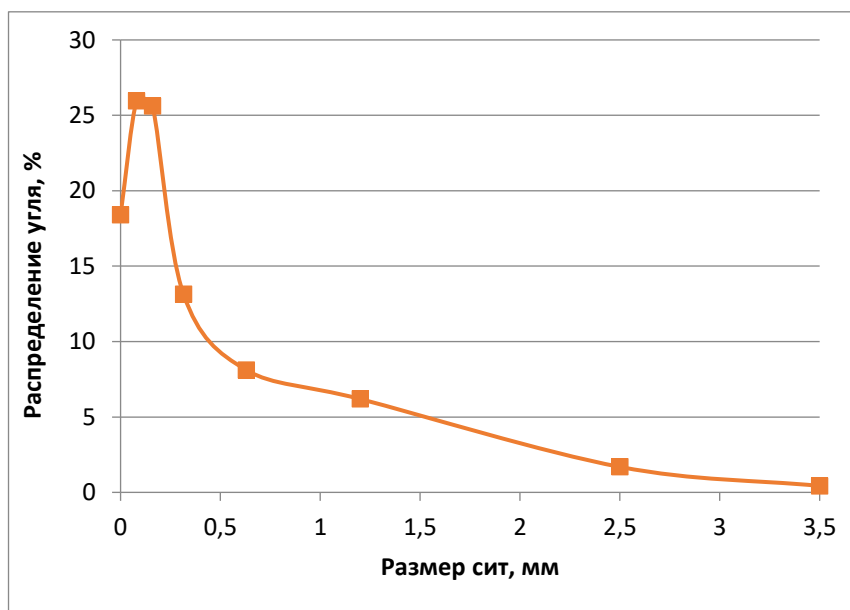


Рис. 1. Результаты ситового анализа

Fig. 1. The results of the sieve analysis

- по йоду ГОСТ 6217-74 Уголь активный древесный дробленый. Технические условия.

Для сравнения в качестве контрольного образца использовался уголь аптечный активированный в виде таблеток (предварительно был измельчен).

Для определения показателей водо- и влагопоглощения угля были проведены следующие эксперименты:

Водопоглощение

Высушенный до постоянной массы уголь фракции более 0,08 мм помещается в дистиллированную воду в соотношении по массе 1:2 соответственно, перемешивается и выдерживается в течение 24 ч. По истечению времени выдержки уголь фильтруется при помощи воронки Бюхнера с фильтровальной бумагой в один слой. Влажный оставшийся уголь аккуратно собирается с поверхности фильтра и взвешивается. Рассчитывается доля поглощенной влаги на массу сухого образца в %.

Влагопоглощение

Высушенный до постоянной массы уголь около 10 г помещается в посуду на открытый воздух при комнатной температуре и выдерживается 168 часов или 1 неделю. По истечению времени образцы взвешиваются и рассчитывается доля поглощенной влаги на массу сухого образца в %.

В качестве образца был отобран фильтрат с Самосыровского полигона ТКО (Респ. Татарстан), закрытого на рекультивацию и требующего утилизации накопленного фильтрата. Фильтрат представляет собой коричневую мутную непрозрачную жидкость с резким едким запахом. Время отбора – май 2023 года.

Определение массовой доли золы проводилось в соответствии с ГОСТ 55661-2013 «Топливо твердое минеральное. Определение зольности». Определение содержания летучих веществ и нелетучего углерода производится в соответствии с ГОСТ 53357-2013 «Топливо твердое минеральное. Методы определения выхода летучих веществ».

Обработка дренажной жидкости осуществлялась путем смешивания с углем, полученным из иловых осадков сточных вод в процессе пиролиза, в соотношении 5:1 по массе. Смесь фильтрата и угля подвергалась интенсивному перемешиванию в течение 30 минут с частотой 120 об/мин. После этого жидкость была отфильтрована. По завершении фильтрации были взяты два образца фильтрата по 50 г. каждый: исходный образец и образец после адсорбции углем. В процессе исследования выявлено, что добавление угля в фильтрат приводило к изменению цвета жидкости на более темный и к устранению запаха. Для дальнейшей обработки каждого образца фильтрата постепенно добавлялось по 0,01 г коагулянта, представляющего собой 18-водный сульфат алюминия ($Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$). После добавления коагулянта проводилось кратковременное перемешивание в течение 20 секунд, за которым следовала стадия покоя в течение 2-3 минут.

Результаты и обсуждение

Результаты ситового анализа представлены на Рис. 1 в виде графика. Согласно полученным данным, уголь является мелкодисперсным, основная доля частиц до 70% находится в диапазоне размера сит 0,16 и меньше, из которых 18,4 % – размером менее 0,08 мм.

Таблица 1. Сорбционная активность угля

Table 1. Sorption activity of coal

| Вид угля | Сорбционная активность | | |
|-------------------------|------------------------|-------------------------------------|---------------------------------|
| | по йоду, % | по метиленовому оранжевому, мг/г | по метиленовому синему, мг/г |
| Норма | 60 | 210 | 225 |
| Активированный аптечный | 60 | 150 | 178,6 |
| Уголь иловых осадков | 5,7 | 134 | 30,2 |

Таблица 2. Свойства угля пиролиза иловых осадков сточных вод

Table 2. Properties of sewage sludge pyrolysis coal

| Свойство | Зольность | Летучие вещества | Нелетучий углерод | Водопоглощение | Влагопоглощение |
|-------------|-----------|---------------------|----------------------|----------------|-----------------|
| значение, % | 61,57 | 19,33 | 80,17 | 86,626 | 2,025 |

Таблица 3. Показатели исходного фильтрата

Table 3. Indicators of the initial filtrate

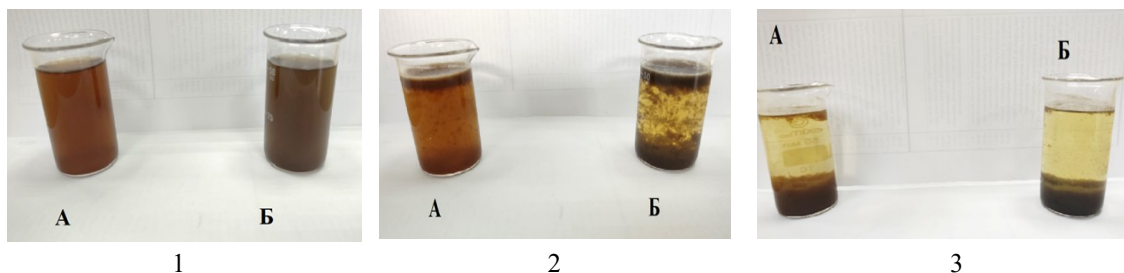
| Наименование показателей, единицы измерений | Исходный фильтрат | ПДК для водоемов рыбохоз. назначения |
|--|-------------------|---|
| Водородный показатель (рН) | 8,5 | 6,5-8,5 |
| Взвешенные вещества, мг/дм ³ | 704 | 10,25 |
| ХПК, мгО ₂ /дм ³ | 11 530 | - |
| БПК ₅ , мгО ₂ /дм ³ | 2 360 | 2,1 |
| Аммоний, мг/дм ³ | 647 | 0,5 |
| Жесткость общая, мг-экв/дм ³ | 80 | - |
| Кальций, мг/дм ³ | 615 | 180,0 |
| Магний, мг/дм ³ | 230 | 40,0 |
| Щелочность общая, мг-экв/дм ³ | 136 | - |
| Железо общее, мг/дм ³ | 44 | 0,1 |
| Кадмий, мг/дм ³ | 0,006 | 0,005 |
| Кобальт, мг/дм ³ | 0,018 | 0,01 |
| Марганец, мг/дм ³ | 5,1 | 0,01 |
| Медь, мг/дм ³ | 0,039 | 0,001 |
| Никель, мг/дм ³ | 0,33 | 0,01 |
| Свинец, мг/дм ³ | 0,07 | 0,006 |
| Хром общий, мг/дм ³ | 0,18 | 0,02 |
| Цинк, мг/дм ³ | 1,88 | 0,01 |
| Нитраты, мг/дм ³ | 45,0 | 40,0 |
| Нитриты, мг/дм ³ | 8,30 | 0,08 |
| Сульфат-ионы, мг/дм ³ | 150,0 | 100,0 |
| Фосфат-ионы, мг/дм ³ | 12,29 | 0,2 |
| Фторид-ионы, мг/дм ³ | 0,82 | 0,05 |
| Хлорид-ионы, мг/дм ³ | 2966 | 300,0 |
| Натрий, мг/дм ³ | 929 | 120,0 |
| АПАВ, мг/дм ³ | 7,03 | 0,1 |
| Нефтепродукты, мг/дм ³ | 6,27 | 0,05 |
| Сухой остаток, мг/дм ³ | 10 138 | - |

В Таблице 1 представлены результаты оценки сорбционной активности угля, полученного при пиролизе иловых осадков сточных вод.

По полученным данным можно сделать вывод, что уголь, полученный при пиролизе иловых осадков городских сточных вод, обладает некоторыми сорбционными

Таблица 4. Изменения внешнего вида фильтрата при различных концентрациях коагулянта
Table 4. Changes in the appearance of the filtrate at different concentrations of coagulant

| Концентрация коагулянта г/50г | Исходный | После обработки углем |
|-------------------------------|--|--|
| 0,01 | Наблюдалась тенденция к осветлению | Наблюдалась тенденция к осветлению |
| 0,02 | Слабое осветление фильтрата | Осветление жидкости, образование хлопьев, расслоение фильтрата |
| 0,03 | Осветление жидкости, накопление образующихся хлопьев | Увеличение объема хлопьев |
| 0,04-0,09 | Увеличение объема хлопьев | Практически полная очистка фильтрата, расслоение жидкости практически полное |
| 0,1 | Практически полная очистка фильтрата | Коагуляция завершена |
| 0,13 | Коагуляция завершена | - |



1

2

3

Рис. 2. Фильтрат ТКО: А – исходный, Б – после адсорбции углем

1) до начала коагуляции, 2) при концентрации коагулянта 0,05г/50г, 3) после окончания коагуляции

Fig. 2. MSW filtrate: A – initial, B – after adsorption by coal

1) before the start of coagulation, 2) at a concentration of 0.05g/50g coagulant, 3) after the end of coagulation

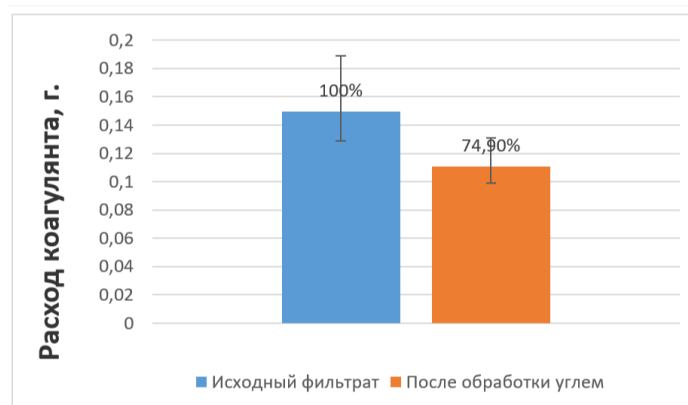


Рис. 3. Расход коагулянта до и после обработки фильтрата ТКО углем

Fig. 3. Coagulant consumption before and after treatment of MSW filtrate with coal

свойствами, хотя его значения не достигают предъявляемых к активированным углям норм.

Основные свойства угля, полученного в результате пиролиза иловых осадков сточных вод, представлены в Таблице 2.

В результате полученных данных можно сделать следующие выводы: уголь обладает высокой зольностью и существенным содержанием нелетучего углерода, а также высокой водопоглощающей способностью. Эти

свойства могут иметь потенциальные применения при адсорбции.

Для определения химического состава фильтрата был проведен комплексный анализ (Таблица 3).

Исходя из полученных данных, можно сделать вывод о том, что все показатели данного фильтрата многократно превышают ПДК для водоемов, что делает невозможным его слив в водоемы без предварительной очистки.

В Таблице 4 продемонстрированы визуальные изменения внешнего вида фильтрата в зависимости от введенной концентрации коагулянта. Путем наблюдения за эффектами коагуляции на внешний вид фильтрата можно оценить воздействие коагулянта и концентрации на процесс очистки воды (Рис. 2).

Результаты оценки расхода коагулянта представлены на Рис. 3. Согласно полученным данным экономия коагулянта в среднем составила 25,1%.

Производилось измерение pH жидкости на основных этапах очистки, данные представлены в Таблице 5.

Таблица 5. Изменение pH на основных этапах
Table 5. pH change at the main stages

| Этап | pH |
|---|------|
| Исходный фильтрат | 7,45 |
| Фильтрат после адсорбции углем и фильтрации | 8,25 |
| Очищенная вода после адсорбции и коагуляции | 8,3 |
| Очищенная вода после коагуляции исходного фильтрата | 8,2 |

Исследование показало, что использование угля в качестве адсорбента приводит к защелачиванию водной среды, вероятно, это связано с его высокой зольностью. Данное свойство может быть полезным при очистке воды, поскольку более высокий pH может улучшить эффективность коагуляции и удаления загрязнений из воды [10].

Заключение

В данной исследовательской работе рассматривается актуальная проблема очистки дренажной жидкости с полигонов ТКО, требующей комплексного и эффективного подхода. В процессе экспериментов было доказано, что использование угля, полученного при пиролизе иловых ОСВ, представляет собой перспективное решение данной проблемы.

Смешивание угля с дренажной жидкостью показало значительное снижение расхода коагулянта, делая этот метод обработки более

эффективным. Экономия коагулянта, достигнутая при использовании угля на 25,1%, подчеркнула его способность эффективно коагулировать и удалять вещества из дренажной жидкости.

В целом результаты исследования подтверждают возможность использования угля, полученного при пиролизе иловых ОСВ, в качестве средства для очистки дренажной жидкости с ТКО. Стоит учитывать, что предлагаемый метод планируется использовать в комплексе с другими методами очистки. В целях продолжения исследований в данном направлении планируется исследовать адсорбционную способность твердых продуктов пиролиза иловых осадков после термической активации.

Предлагаемый метод обработки фильтрата ТКО способствует снижению негативного воздействия на окружающую среду и имеет потенциал усовершенствования методов в области управления отходами. Дальнейшие исследования и оптимизация этого метода могут дать дополнительные стимулы к внедрению более широкого и быстрого распространения технологии переработки иловых осадков методом пиролиза в экологической, промышленной и городской практике.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 22-73-10097, <https://rscf.ru/project/22-73-10097/>

Список литературы

1. Соломин И. А. Системы удаления и переработки фильтрата на полигонах захоронения ТКО // Природообустройство. 2020. №3. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/sistemy-udaleniya-i-pererabotki-filtrata-na-poligonah-zahoroneniya-tko>.
2. Wiszniowski J., Robert D., Surmacz-Gorska J. [et al.] Landfill leachate treatment methods: A review. *Environ Chem Lett.* 2006; 4:51–61 (2006). <https://doi.org/10.1007/s10311-005-0016-z>
3. Welander U., Henryson T., Welander T. Biological nitrogen removal from municipal landfill leachate in a pilot scale suspended carrier biofilm. *Water Resh.* 1998. 32(5):1564–1570.
4. Martinen S.K., Kettunen R.H., Rintala J.A. Occurrence and removal of organic pollutants in sewages and landfill leachates. *Sci Total Environ.* 2003; 301:1–12.
5. Shiskowski D.M., Mavinic D.S. Biological treatment of a high ammonia leachate: influence of external carbon during initial start-up. *Water Res.* 1998; 32(8):2533–2541.
6. Im J.-H., Woo H.-J., Choi M.-W., Han K.B., Kim Ch.-W. (2001) Simultaneous organic and nitrogen

removal from municipal landfill leachate using an anaerobic-aerobic system. *Water Res.* 2011; 35(10):2403–2410.

7. Gupta S.K., Sharma R. (1996) Biological oxidation of high strength nitrogenous wastewater. *Water Res.* 1996; 30(3):593–600.

8. Ghyoot W., Vandaele S., Verstraete W. Nitrogen removal from sludge reject water with a membrane-assisted bioreactor. *Water Res.* 1999; 33(1):23–32.

9. Anthonisen A.C., Loehr R.C., Prakasam T.B.S., Srinath E.G. Inhibition of nitrification by ammonia and nitrous acid. *Res J Water Pollut Control Fed.* 1976; 48(5):835–852.

10. Первов А. Г., Широкова Т. Н. Определение основных параметров работы установок обратного осмоса при очистке фильтратов полигонов ТБО // *Строительство и техногенная безопасность.* 2020. № 18(70). С. 83–96. DOI: 10.37279/2413-1873-2020-18-83-96. EDN ZMUPBL.

11. Amokrane A., Comel C., Veron J. Landfill leachate pretreatment by coagulation-flocculation. *Water Res.* 1997; 31:2775–2782.

12. Tatsi A.A., Zouboulis A.I., Matis K.A., Samaras P. Coagulation–flocculation pre-treatment of sanitary landfill leachates. *Chemosphere.* 2003; 53:737–744.

13. Morawe B., Ramteke D.S., Vogelpohl A. Activated carbon column performance studies of biologically treated landfill leachate. *Chem Eng Process.* 1995; 34:299–303.

14. Чемерис М. С. Экологические основы утилизации осадков городских сточных вод на примере мегаполиса г. Новосибирска. Автореферат дис... д.б.н. 2006.

15. Гармаш Г. А., Гармаш Н. Ю. Влияние тяжелых металлов, внесенных в почву с осадками сточных вод, на урожайность пшеницы и качество продукции // *Агрехимия.* 1989. №7. С.69–75.

16. Маркелов А. Ю., Ширяевский В. Л.,

Пупырев Е. И. [и др.] Технология остеклования илового осадка сточных вод в сравнении с другими методами переработки // *Водоснабжение и санитарная техника.* 2021. № 7. С. 30–40. DOI: 10.35776/VST.2021.07.05. EDN GCEESG.

17. Ситдыкова К. Н., Хазиахмедова Р. М., Грачев А. Н. [и др.] Быстрый абляционный пиролиз // *Актуальные проблемы науки о полимерах-2018: Сборник трудов Всероссийской научной конференции, посвященной 60-летию юбилею кафедры Технологии пластических масс, Казань, 19–20 ноября 2018 года.* Ответственный редактор Емелина О. Ю. Казань : Казанский национальный исследовательский технологический университет, 2018. С. 25.

18. Valiullina A. I., Valeeva A. R., [et al.] Effect of molar ratios of phenol, formaldehyde, and catalyst on the properties of phenol–formaldehyde resin with partial replacement of synthetic phenol with depolymerized lignocellulose biomass // *Biomass Conversion and Biorefinery.* 2021. P. 1–9.

19. Буренков С. В., Грачев А. Н., Башкиров В. Н. [и др.] Исследование свойств иловых осадков целлюлознобумажного комбината // *Материалы 83-й научно-технической конференции профессорско-преподавательского состава, научных сотрудников и аспирантов.* Минск, 2019. С. 84.

20. Буренков С. В. Переработка иловых осадков сточных вод методом термического разложения // *Материалы IV Всероссийской научно-практической конференции «Новые материалы, химические технологии и реагенты для промышленности, медицины и сельского хозяйства на основе нефтехимического и возобновляемого сырья».* Уфа, 2017. С. 34–41.

21. Буренков С. В., Грачев А. Н., Забелкин С. А. Термическая утилизация иловых осадков сточных вод методом быстрого пиролиза в сеточном реакторе // *Вестник технологического университета.* 2016. Т. 19. №22. С. 40–43.

© 2024 Авторы. Эта статья доступна по лицензии Creative Commons «Attribution» («Атрибуция») 4.0 Всемирная (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Об авторах:

Киселев Дмитрий Юрьевич, магистр, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Казанский национальный исследовательский технологический университет» (ФГБОУ ВО «КНИТУ»), (420015, Россия, г. Казань, ул. Карла Маркса, 68), e-mail: dmskkiselev@gmail.com

Валеева Айгуль Раисовна, к.т.н., доцент, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Казанский национальный исследовательский технологический университет» (ФГБОУ ВО «КНИТУ»), (420015, Россия, г. Казань, ул. Карла Маркса, 68), e-mail: samirhanova@rambler.ru

Валиуллина Альмира Иршатовна, старший преподаватель, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Казанский национальный исследовательский технологический университет» (ФГБОУ ВО «КНИТУ»), (420015, Россия, г. Казань, ул. Карла Маркса, 68), e-mail: almi.sabirzyanova@ya.ru

Хазиахмедова Римма Маратовна, старший преподаватель, Федеральное государственное бюджетное

образовательное учреждение высшего образования «Казанский национальный исследовательский технологический университет» (ФГБОУ ВО «КНИТУ»), (420015, Россия, г. Казань, ул. Карла Маркса, 68), e-mail: rimmo4ka_0694@mail.ru

Башкиров Владимир Николаевич, д.т.н., заведующий кафедрой, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Казанский национальный исследовательский технологический университет» (ФГБОУ ВО «КНИТУ»), (420015, Россия, г. Казань, ул. Карла Маркса, 68), e-mail: vlad_bashkirov@mail.ru

Грачев Андрей Николаевич, д.т.н., профессор, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Казанский национальный исследовательский технологический университет» (ФГБОУ ВО «КНИТУ»), (420015, Россия, г. Казань, ул. Карла Маркса, 68), e-mail: energolesprom@gmail.com

Заявленный вклад авторов:

Киселев Дмитрий Юрьевич – проведение исследования и экспериментов, сбор и анализ данных по статье, подготовка и редактирование текста;

Валеева Айгуль Раисовна – формулировка и развитие ключевых целей и задач исследования, подготовка и редактирование текста;

Валиуллина Альмира Иршатовна – сбор и анализ данных по статье, подготовка и редактирование текста;

Хазиахмедова Римма Маратовна – сбор и анализ данных по статье, подготовка и редактирование текста;

Башкиров Владимир Николаевич – утверждение окончательного варианта статьи;

Грачев Андрей Николаевич – анализ и интерпретация полученных данных, пересмотр статьи с внесением замечаний интеллектуального содержания.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Original article

APPLICATION OF SOLID PYROLYSIS PRODUCTS OF SLUDGE SEDIMENTS FOR THE PURIFICATION OF MSW FILTRATE

Dmitry Yu. Kiselyov, Aigul R. Valeeva,
Almira I. Valiullina, Rimma M. Khaziakhmetova,
Vladimir N. Bashkirov, Andrey N. Grachev

Kazan National Research Technological University

*for correspondence: dmskkiselev@gmail.com



Article info

Received:

13 February 2024

Accepted for publication:

15 May 2024

Accepted:

29 May 2024

Published:

13 June 2024

Keywords: *sludge sediments, solid pyrolysis products, MSW filtrate, wastewater treatment, pyrolysis, sludge pyrolysis, sewage sludge, MSW filtrate purification*

Abstract.

The problem of accumulation of sludge sewage sludge is acutely relevant. One of the methods of their processing is pyrolysis, which allows you to convert precipitation into coal. Openness to the search for new ways to use this coal stimulates research in the field of its potential applications. Cleaning of municipal solid waste filtrate (MSWF) It is also an important task from the point of view of eliminating harmful substances and minimizing the negative impact on the environment. This article discusses the effectiveness of cleaning drainage fluid from municipal solid waste using coal obtained by pyrolysis of sludge sewage. Experiments were carried out to determine the possibility of adsorption of harmful substances and pollutants using this coal. In the process of mixing the filtrate with coal, a significant reduction in the cost of the coagulant used for its purification was achieved. The conducted sieve analysis showed that the coal of silt sediments of urban wastewater is a finely dispersed material.

For citation: Kiselyov D.Yu., Valeeva A.R., Valiullina A.I., Khaziakhmetova R.M., Bashkirov V.N., Grachev A.N. Application of solid pyrolysis products of sludge sediments for the purification of MSW filtrate. *Vestnik Kuzbasskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*=Bulletin of the Kuzbass State Technical University. 2024; 2(162):24-34. (In Russ., abstract in Eng.). DOI: 10.26730/1999-4125-2024-2-24-34, EDN: VYVXXV

REFERENCES

- Solomin I.A. Filtrate removal and processing systems at msw landfills. *Prirodoobustrojstvo*. 2020; 3. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/sistemy-udaleniya-i-pererabotki-filtrata-na-poligonah-zahoroneniya-tko>.
- Wiszniewski J., Robert D., Surmacz-Gorska J. [et al.] Landfill leachate treatment methods: A review. *Environ Chem Lett*. 2006; 4:51–61. <https://doi.org/10.1007/s10311-005-0016-z>
- Welander U., Henryson T., Welander T. Biological nitrogen removal from municipal landfill leachate in a pilot scale suspended carrier biofilm. *Water Resh*. 1998; 32(5):1564–1570
- Marttinen S.K., Kettunen R.H., Rintala J.A. Occurrence and removal of organic pollutants in sewages and landfill leachates. *Sci Total Environ*. 2003; 301:1–12.
- Shiskowski D.M., Mavinic D.S. Biological treatment of a high ammonia leachate: influence of external carbon during initial start-up. *Water Res*. 1998; 32(8):2533–2541.
- Im J.-H., Woo H.-J., Choi M.-W., Han K.B., Kim Ch.-W. Simultaneous organic and nitrogen removal from municipal landfill leachate using an anaerobic-aerobic system. *Water Res*. 2001; 35(10):2403–2410.
- Gupta S.K., Sharma R. Biological oxidation of high strength nitrogenous wastewater. *Water Res*. 1996; 30(3):593–600.
- Ghyoot W., Vandaele S., Verstraete W. Nitrogen removal from sludge reject water with a membrane-assisted bioreactor. *Water Res*. 1999; 33(1):23–32.
- Anthonisen A.C., Loehr R.C., Prakasam T.B.S., Srinath E.G. Inhibition of nitrification by ammonia and nitrous acid. *Res J Water Pollut Control Fed*. 1976; 48(5):835–852.
- Pervov A.G., Shirikova T.N. Opredelenie osnovnykh parametrov raboty ustanovok obratnogo osmosa pri oчитске fil'tratov poligonov TBO. *Stroitel'stvo i tehnogennaja bezopasnost'*. 2020; 18(70):83-96. DOI: 10.37279/2413-1873-2020-18-83-96. EDN ZMUPBL.
- Amokrane A., Comel C., Veron J. Landfill leachate pretreatment by coagulation-flocculation. *Water Res*. 1997; 31:2775–2782.
- Tatsi A.A., Zouboulis A.I., Matis K.A., Samaras P. Coagulation–flocculation pre-treatment of sanitary landfill leachates. *Chemosphere*. 2003; 53:737–744.
- Morawe B., Ramteke D.S., Vogelpohl A. Activated carbon column performance studies of biologically treated landfill leachate. *Chem Eng Process*. 1995; 34:299–303.
- Chemeris M.S. Ecological bases of utilization of municipal sewage sludge on the example of the Novosibirsk megalopolis. Avtoreferat dis... d.b.n. 2006.
- Garmash G.A., Garmash N.Ju. The effect of heavy metals introduced into the soil with sewage sludge on wheat yield and product quality. *Agrohimiya*. 1989; 7:69–75.
- Markelov A.Ju., Shirjaevskij V.L., Pupyrev E.I. Technology of vitrification of sludge sludge in comparison with other processing methods. *Vodosnabzhenie i sanitarnaja tehnika*. 2021; 7:30–40. DOI: 10.35776/VST.2021.07.05. EDN GCEESG.
- Sitdykova K.N., Haziamedova R.M., Grachev A.N. Fast ablative pyrolysis. *Aktual'nye problemy nauki o polimerah-2018: Sbornik trudov Vserossijskoj nauchnoj konferencii, posvjashhennoj 60-letnemu jubileju kafedry Tehnologii plasticheskikh mass, Kazan', 19–20 nojabrja 2018 goda*. Otvetstvennyj redaktor O.Ju. Emelina. Kazan': Kazanskij nacional'nyj issledovatel'skij tehnologicheskij universitet; 2018.
- Valiullina A.I., Valeeva A.R., [et al.] Effect of molar ratios of phenol, formaldehyde, and catalyst on the properties of phenol–formaldehyde resin with partial replacement of synthetic phenol with depolymerized lignocellulose biomass. *Biomass Conversion and Biorefinery*. 2021. Pp. 1–9.
- Burenkov, S.V., Grachjov A.N., Bashkirov V.N. [et al.] Investigation of the properties of silt deposits of a pulp and paper mill. *Materialy 83-j nauchno-tehnicheskoi konferencii professorskoprepodavatel'skogo sostava, nauchnykh sotrudnikov i aspirantov*. Minsk, 2019.
- Burenkov S.V. Processing of sludge sewage sludge by thermal decomposition. *Materialy IV Vserossijskoj nauchno-prakticheskoi konferencii «Novye materialy, himicheskie tehnologii i reagenty dlja promyshlennosti, mediciny i sel'skogo hozjajstva na osnove neftehimicheskogo i vozobnovljaemogo syr'ja*. Ufa, 2017.
- Burenkov S.V., Grachjov A.N., Zabelkin S.A. Thermal utilization of sludge sewage sludge by rapid pyrolysis in a grid reactor. *Vestnik tehnologicheskogo universiteta*. 2016; 19(22):40–43.

© 2024 The Authors. This is an open access article under the CC BY license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

The authors declare no conflict of interest.

About the authors:

Dmitry Yu. Kiselyov, Master's degree, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Kazan National Research Technological University" (FGBOU VO "KNITU"), (68 Karl Marx St., Kazan, 420015, Russia), e-mail: dmskkiselev@gmail.com

Aigul R. Valeeva, C. Sc. in Engineering, Assistant Professor, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Kazan National Research Technological University" (FGBOU VO "KNITU"), (68 Karl Marx St., Kazan, 420015, Russia), e-mail: samirhanova@rambler.ru

Almira I. Valiullina, senior lecturer, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Kazan National Research Technological University" (FGBOU VO "KNITU"), (68 Karl Marx St., Kazan, 420015, Russia), e-mail: almi.sabirzyanova@ya.ru

Rimma M. Khaziakhmetova, senior lecturer, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Kazan National Research Technological University" (FGBOU VO "KNITU"), (68 Karl Marx St., Kazan, 420015, Russia), e-mail: rimmo4ka_0694@mail.ru

Vladimir N. Bashkirov, Dr. Sc. in Engineering, Head of the Department, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Kazan National Research Technological University" (FGBOU VO "KNITU"), (68 Karl Marx St., Kazan, 420015, Russia), e-mail: vlad_bashkirov@mail.ru

Andrey N. Grachev, Dr. Sc. in Engineering, Professor, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Kazan National Research Technological University" (FGBOU VO "KNITU"), (68 Karl Marx St., Kazan, 420015, Russia), e-mail: energolesprom@gmail.com

Contribution of the authors:

Dmitry Yu. Kiselyov – conducting research and experiments, collecting and analyzing data on the article, preparing and editing the text;

Aigul R. Valeeva – formulation and development of key research goals and objectives, preparation and editing of the text;

Almira I. Valiullina – collection and analysis of data on the article, preparation and editing of the text;

Rimma M. Khaziakhmetova – collection and analysis of data on the article, preparation and editing of the text;

Vladimir N. Bashkirov – approval of the final version of the article;

Andrey N. Grachev – analysis and interpretation of the data obtained, revision of the article with the introduction of comments of intellectual content

All authors have read and approved the final manuscript.

