

---

---

# ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

---

---

Научная статья

УДК 628.3:66.081; DOI: 10.61260/1998-8990-2024-3-153-161

## ОЧИСТКА СТОЧНЫХ ВОД ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ ОТ КАТИОНОВ МЕДИ

**Николаева Лариса Андреевна;**

✉ **Адджигитова Айгуль Айдаровна.**

**Казанский государственный энергетический университет, Казань, Россия**

✉ ***aigul-83@mail.ru***

*Аннотация.* Изучен состав сточных вод гальванического производства и технологическая схема их очистки. Определены технологические характеристики высушенных растительных отходов и золы, полученной после их сжигания в котле с производством энергии. Рассчитаны характеристики котла при сжигании растительных отходов. Разработана технология производства гранулированного сорбента из золы растительных отходов. Дополнена система очистки путем добавления блока доочистки полученным сорбционным материалом. Произведен расчет фильтра.

Результаты исследования позволяют получить новый материал для сорбционной очистки от катионов меди до уровня предельно-допустимой концентрации вредных веществ сброса в водоемы рыбохозяйственного назначения. При исследовании механизма адсорбции установлено, что происходит физическая адсорбция. Для определения характера адсорбции была рассчитана энергия Гиббса, вычислены константы скорости адсорбционного равновесия, рассчитана энергия активации процесса.

*Ключевые слова:* отходы потребления, гальваническое производство, адсорбционный материал, органические отходы

**Для цитирования:** Николаева Л.А., Адджигитова А.А. Очистка сточных вод промышленных предприятий от катионов меди // Проблемы управления рисками в техносфере. 2024. № 3 (71). С. 153–161. DOI: 10.61260/1998-8990-2024-3-153-161.

Scientific article

## TREATMENT OF WASTEWATER FROM INDUSTRIAL ENTERPRISES FROM COPPER CATIONS

**Nikolaeva Larisa A.;**

✉ **Adzhigitova Aigul A.**

**Kazan state energy university, Kazan, Russia**

✉ ***aigul-83@mail.ru***

*Abstract.* The composition of wastewater from galvanic production and the technological scheme of their purification have been studied. The technological characteristics of dried plant waste and ash obtained after their combustion in a boiler with energy production are determined. The characteristics of the boiler during the combustion of plant waste are calculated. A technology for the production of granular sorbent from the ash of plant waste has been developed. The cleaning system has been supplemented by adding a post-treatment unit with the resulting sorption material. The filter has been calculated. The results of the study make it possible to obtain a new material

© Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России, 2024

for sorption purification from copper cations, up to the level of maximum permissible concentration of harmful substances discharged into fisheries reservoirs. After examining the mechanism of adsorption, it was found that physical adsorption occurs. To determine the nature of adsorption, the Gibbs energy was calculated, the rate constants of the adsorption equilibrium were calculated, and the activation energy of the process was calculated.

*Keywords:* consumer waste, galvanic production, adsorption material, organic waste

**For citation:** Nikolaeva L.A., Adzhigitova A.A. Treatment of wastewater from industrial enterprises from copper cations // Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere = Problems of risk management in the technosphere. 2024. № 3 (71). P. 153–161. DOI: 10.61260/1998-8990-2024-3-153-161.

## Введение

С каждым годом все более остро встает проблема образования твердых отходов как в промышленном, так и в бытовом секторе. Один из видов таких отходов образуется на предприятиях сектора В2В (вид экономического взаимодействия между организациями, предполагающего, что сторонами являются компании, а не конечные потребители товара), которые занимаются доставкой пищевых продуктов в столовые, рестораны, кафе и другие предприятия общественного питания. Такой товар, как свежие овощи, фрукты, зелень, быстро теряет товарный вид и потребительские качества и составляет значительную долю в образующихся отходах (30–40 %) [1]. По данным Российского экологического оператора, ежегодно в России таких отходов образуется около 16 млн т.

Увеличивающееся количество растительных отходов наносит вред не только природе, но и самому человеку. Опасны продукты разложения органических веществ, которые образуются в массах гниющих отходов: токсичные соединения, парниковые газы. Свалки становятся очагами распространения инфекций и болезнетворных микроорганизмов.

Согласно ИТС 8–2020 «Информационно-технический справочник по наилучшим доступным технологиям. Очистка сточных вод при производстве продукции (товаров), выполнении работ и оказании услуг на крупных предприятиях» [2] высушенные растительные отходы могут сжигаться с производством энергии вместо твердого топлива на котельных малой и средней мощности.

Ранние научные исследования показали, что растительные отходы (например, древесные опилки, опад листвы, овощи, злаки, фрукты, скорлупа орехов и др.) показывают высокую адсорбционную эффективность в отношении тяжелых металлов и могут применяться в качестве сорбентов для их очистки [3–6].

Одним из главных источников загрязнений ионами тяжелых металлов являются предприятия гальванического производства. Существующие методы очистки в некоторых случаях не снижают содержание тяжелых металлов до уровня предельно-допустимого для сброса в водоемы рыбохозяйственного значения, происходит повышение антропогенного негативного воздействия [7].

Таким образом, представленные результаты исследования позволяют решить сразу две экологические проблемы: предотвращение вреда от высокого содержания тяжелых металлов в стоках и утилизацию растительных отходов [8].

## Методы исследования

Методы исследования основываются на положении теории адсорбции и кинетики процесса. В исследовании были применены следующие методы: хроматографический, гравиметрический, титриметрический, фотоколориметрический анализы, рентгеновская дифрактометрия.

## Результаты исследования и их обсуждение

Анализ сточных вод предприятия гальванического производства ООО «ЕЛТОНС» показал, что после очистки концентрация катионов меди достигает  $5,08 \text{ мг/дм}^3$ , что во много раз превышает уровень предельно-допустимой концентрации (ПДК) катионов меди в водных объектах рыбохозяйственного значения ( $0,001 \text{ мг/дм}^3$ ). Такая концентрация является недопустимой при сбросе сточных вод (СВ) в открытые водоемы. После основной очистки необходима доочистка СВ [9]. Предлагается доработка системы очистки ООО «ЕЛТОНС», усовершенствованная путем добавления одного из блоков доочистки: сорбентом из золы растительных отходов (С1) или гранулами из золы растительных отходов (С2).

Методом рентгеновской дифрактометрии определен элементный состав материала: углерод – 55,6 %, водород – 7,0 %, сера – 1,1 %, хлор – 0,9 %, азот – 3,8 %, кислород – 31,6 %. Определены технологические характеристики: влажность – 3 %, зольность – 11,3 %, теплота сгорания – 25,0 МДж/кг.

Растительные отходы предлагается утилизировать путем сжигания в топке котла марки ДКВр-10-13С с производством энергии. Для сжигания в топке котла возможно использование топлива с влажностью до 20 % [10]. Для снижения уровня влажности растительных отходов от 70 % до 20 % предлагается использовать фильтр-пресс. Принципиальная схема озоления растительных отходов приведена на рис. 1.

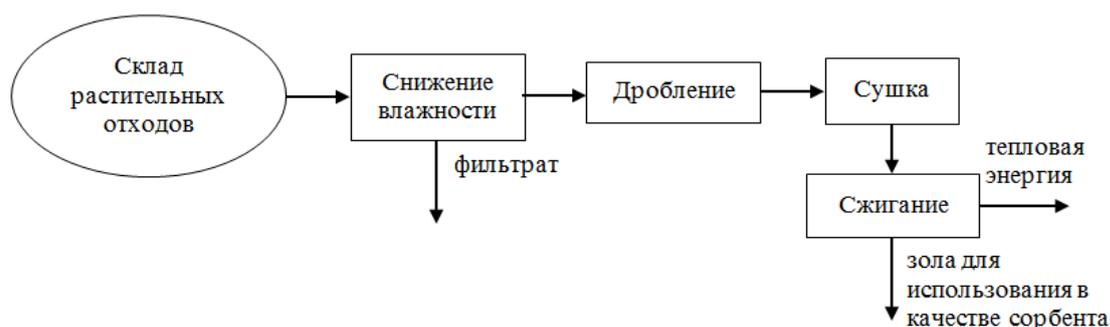


Рис. 1. Принципиальная схема озоления растительных отходов

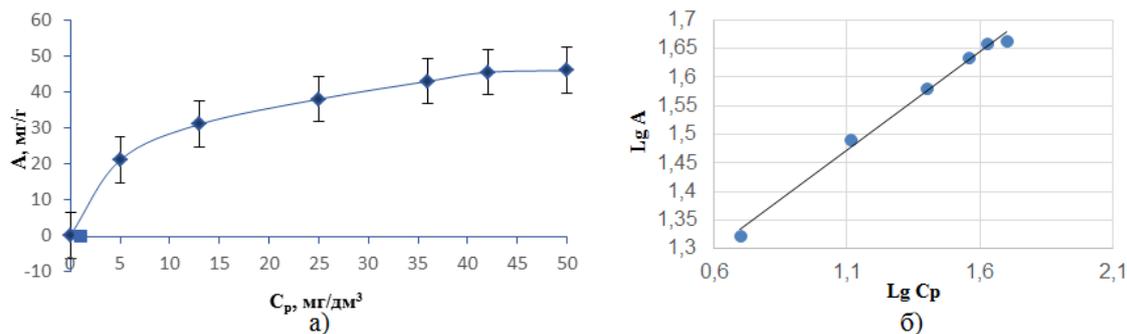
Согласно ИТС 9–2020 «Утилизация и обезвреживание отходов термическими способами» для повышения эффективности сжигания растительных отходов необходимо его осуществлять на колосниковой решетке. Для такого сжигания был подобран котел марки ДКВр-10-13С с экранированной топочной камерой.

Способ сжигания растительных отходов – слоевое сжигание на механической колосниковой решетке. Класс опасности золы – IV.

Рентгенографическим методом определен химический состав золы: CaO – 47,85 %, SiO<sub>2</sub> – 29,78 %, MgO – 8,73 %, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – 6,10 %, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – 5,38 %, TiO<sub>2</sub> – 1,12 %, SO<sub>3</sub> – 1,04 %.

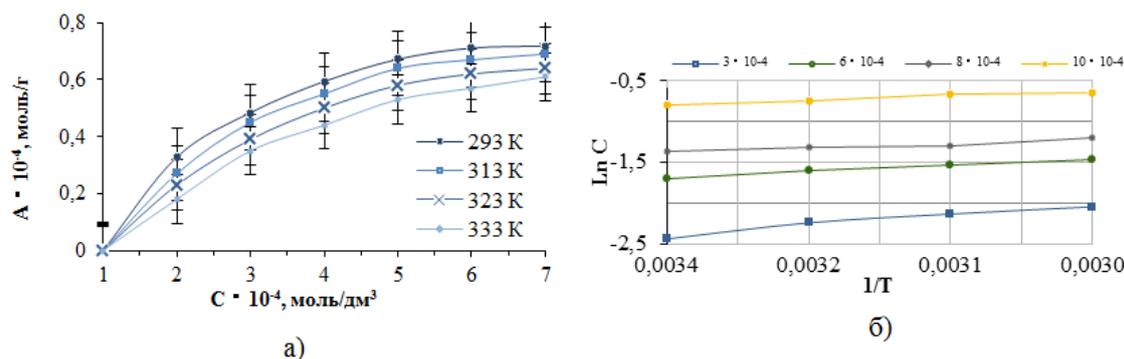
Технологические характеристики золы (сорбент С1): насыпная плотность –  $329 \text{ кг/м}^3$ , удельная поверхность –  $140 \text{ м}^2/\text{г}$ , водопоглощение – 23 %, суммарный объем пор –  $0,8 \text{ см}^3/\text{г}$ .

Адсорбционная емкость золы определялась экспериментально на модельных растворах. Применялся раствор CuSO<sub>4</sub>·5H<sub>2</sub>O с концентрацией  $50 \text{ мг/дм}^3$ . Изотерма адсорбции и ее вид в логарифмических координатах приведены на рис. 2.



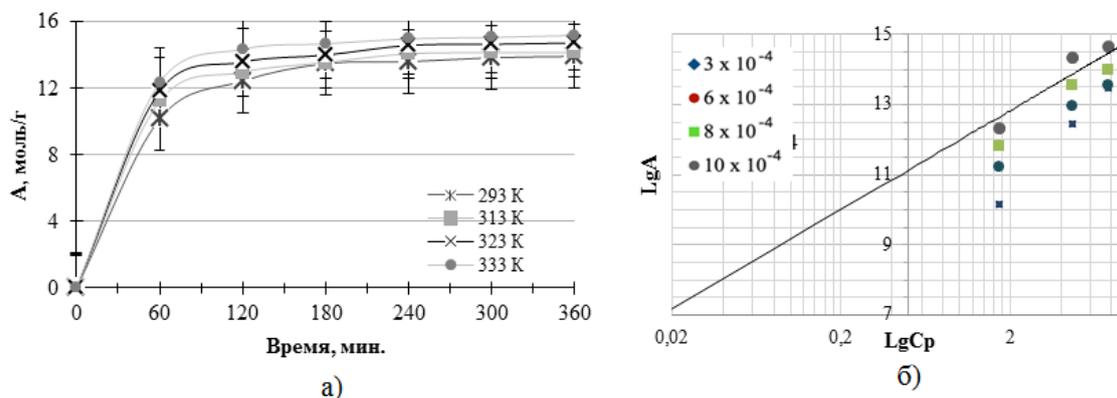
**Рис. 2. Изотерма адсорбции ионов  $\text{Cu}^{2+}$  сорбентом С1:**  
 (А – количество адсорбированного вещества, мг/г;  $C_p$  – концентрация ионов меди в растворе после адсорбции, мг/дм<sup>3</sup>) (а) и ее вид в логарифмических координатах (б)

Чтобы изучить механизм сорбции сорбентом С1, эксперименты проводились при различных температурах. Изотермы и изостеры адсорбции показаны на рис. 3.



**Рис. 3. Изотермы (а) и изостеры (б) адсорбции ионов меди сорбентом С1 при различных температурах**

Результаты исследования кинетики адсорбции катионов меди сорбентом С1 при разных температурах показаны на рис. 4.



**Рис. 4. Кинетические кривые адсорбции ионов меди при разных температурах (а) и их логарифмический вид (б)**

Результаты расчетов константы скорости адсорбции приведены в таблице.

Таблица

**Константы скорости адсорбции ионов меди сорбентом С1 в зависимости от температуры**

Температура, К	293	313	323	333
$K \cdot 10^3, c^{-1}$	0,430	0,386	0,351	0,338

Чем выше температура адсорбции катионов меди на растительных отходах, тем ниже константа, что подтверждает неактивированную адсорбцию.

С помощью уравнения Аррениуса графическим методом рассчитана энергия активации процесса (рис. 5).

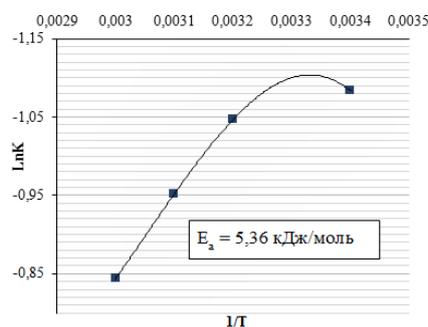


Рис. 5. Графический метод определения энергии активации процесса адсорбции ионов меди

Значение кажущейся энергии активации ( $E_a$ ) указывает на протекание физической адсорбции.

С этой целью из сорбента С1 получены гранулы (сорбент С2) путем перемешивания со связующим (жидкое натриевое стекло). Соотношение золы и связующего – 2:1.

Увеличение удельной поверхности гранулированного сорбента связано с образованием алюмосиликатных кристаллов со связями Si-O-Al с ассоциированными катионами натрия, которые образуются при взаимодействии  $Al_2O_3$ ,  $SiO_2$  и жидкого натриевого стекла при температуре 500 °С.

Проведены экспериментальные исследования адсорбции катионов меди сорбентом С2 в динамических условиях. Через слой гранул пропускали модельный раствор  $CuSO_4 \cdot 5H_2O$  концентрацией 5 мг/дм<sup>3</sup>.

Проскок катионов меди был зафиксирован при концентрации 0,001 мг/дм<sup>3</sup>. Кривая адсорбции представлена на рис. 6.

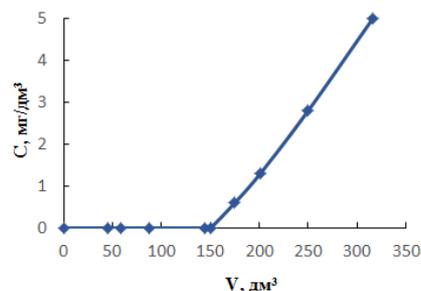


Рис. 6. Кривая адсорбции катионов меди сорбентом С2 в динамических условиях:  
 $C$  – концентрация катионов меди в растворе после адсорбции, мг/дм<sup>3</sup>;  
 $V$  – объем раствора, пропущенного через колонку, дм<sup>3</sup>

Определен уровень токсичности вытяжки сорбента С2 методом биотестирования на ракообразных *Daphnia magna Straus* и одноклеточных пресноводных водорослей *Scenedesmus quadricauda (Turp) Breb.* Результаты показали, что водная вытяжка сорбента С2 не токсична для ракообразных и водорослей. Показатели качества дистиллированной воды, пропущенной через загрузку сорбционного материала, указывают на отсутствие вторичного загрязнения фильтрата компонентами сорбента С2.

Доработана очистительная система компании ООО «ЕЛТОНС» от ионов тяжелых металлов из стоков (рис. 7).

В блок доочистки сточных вод от катионов меди предлагается использовать один из аппаратов, работающих в разных режимах: статический (а, емкость с механическим перемешиванием с загрузкой сорбента С1: (6) – реактор с лопастной мешалкой; (7) – тонкослойный отстойник; (8) – приемник) и динамический (б, адсорбционный фильтр с загрузкой сорбента С2: (11) – адсорбционный фильтр). Схема дополняется блоком производства сорбента С2, который состоит из гранулятора-смесителя (9) и муфельной печи (10).

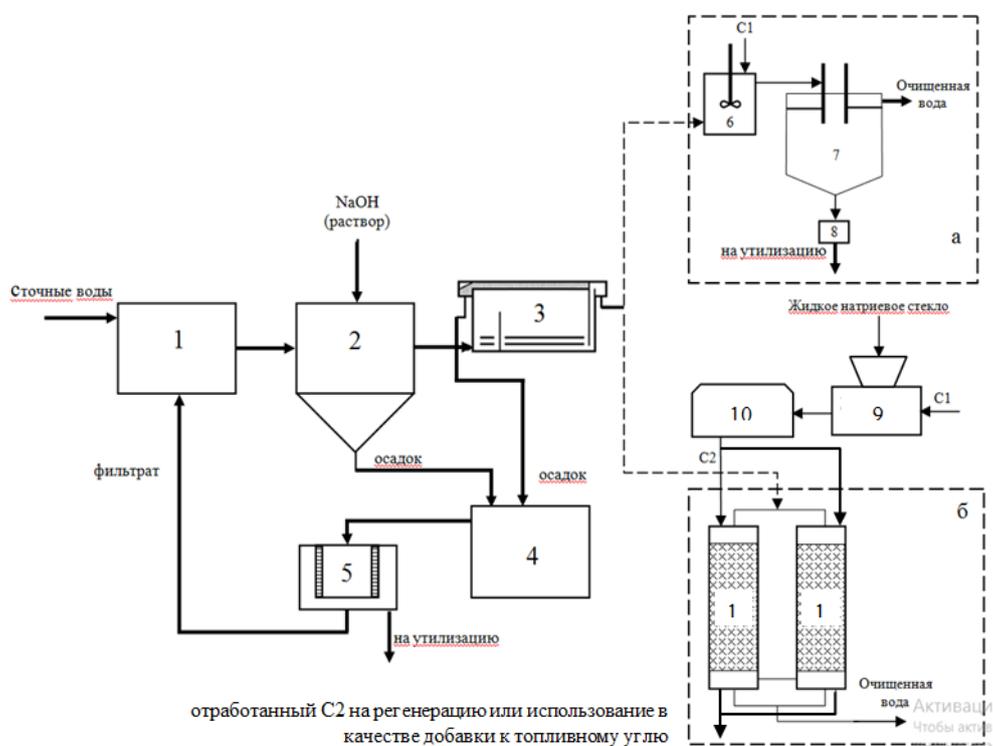


Рис. 7. Система очистки ООО «ЕЛТОНС» с предлагаемыми блоками доочистки

Для адсорбции в статическом режиме рассчитано, что сорбент С1 необходимо вводить противоточно технологией трехступенчатого ввода. Применяется механический способ перемешивания адсорбента с очищаемым раствором. Для адсорбции в динамических условиях целесообразно использовать адсорбер. Расчеты при разных режимах показали, что наибольшую эффективность показывает блок доочистки в динамических условиях – 97,8 %. Эффективность в статических условиях – 85,9 %.

Рассчитан адсорбционный фильтр. Фильтр имеет следующие параметры: производительность – 0,7 м<sup>3</sup>/ч; насыпная плотность гранул – 665 кг/м<sup>3</sup>; удельная поверхность гранул – 158 м<sup>2</sup>/г; перепад давления насыпного слоя – 2,99 кПа; масса сорбента С2 для загрузки одного фильтра – 1939,14 кг; коэффициент диффузии – 6,25·10<sup>-13</sup> м<sup>2</sup>/с; коэффициент массоотдачи – 2,2·10<sup>-7</sup> м/с; объемный коэффициент массоотдачи – 0,01 с<sup>-1</sup>.

Отработанный сорбент С2 предлагается либо регенерировать, пропуская очищенную воду под напором снизу вверх, либо использовать в качестве добавки к топливному углю при сжигании.

Исследователи из Национального исследовательского технологического университета «МИСиС», Института катализа Сибирского отделения Российской академии наук им. Г.К. Борескова и Томского политехнического университета экспериментально доказали эффективность метода повышения производительности сгорания твердого топлива путем добавления солей меди.

Процесс, в ходе которого происходит активация горения твердого топлива, основывается на интенсификации окисления углерода за счет того, что на его поверхности адсорбируется больше кислорода. Такой процесс приводит к тому, что температура воспламенения твердого топлива снижается, а скорость горения увеличивается. При этом образующиеся оксиды в процессе горения проходят несколько стадий окисления и восстановления [11].

Такой метод позволяет уменьшить количество выбросов газа в окружающую среду на 40 % и снизить недожог в три раза, повысив, в результате, выход полезного тепла.

Добавки вводили методом мокрой пропитки с последующей сушкой. Экспериментальным методом выяснено, что наиболее эффективна добавка солей меди в количестве 5 масс. % [12].

В процессе сжигания происходит деструкция солей меди с образованием оксидов. Оксиды могут извлекаться из зольных отходов методом выщелачивания, таким образом предотвращая загрязнение окружающей среды медью.

В итоге насыщенный медью сорбент С2 может стать катализатором для повышения эффективности сжигания топливного угля.

Рассчитаны себестоимости изготовления сорбентов С1 и С2 (11,2 и 15,6 тыс. руб.), себестоимость очистки 1 м<sup>3</sup> воды посредством полученных сорбентов (35,0 и 37,4 руб.), размер предотвращенного экологического вреда (2 940,4 тыс. руб./год), который включает размер вреда причиненного водному объекту сбросом загрязненных СВ и в результате загрязнения почв сточными водами ООО «ЕЛТОНС» и порчи почв при складировании на ее поверхности растительных отходов, а также экономическая эффективность (1 505 тыс. руб./год) от использования предложенного блока доочистки.

### Заключение

1. Количественно и качественно оценен состав стоков ООО «ЕЛТОНС» и технологическая схема их очистки. Показано, что концентрация катионов меди после очистки превышает уровень ПДК катионов меди в водных объектах рыбохозяйственного значения.

2. Изучен процесс адсорбции ионов меди из модельных растворов сорбентом С1 (зола растительных отходов) в статических условиях. Рассчитаны кинетические параметры, подтвержден механизм физической неактивированной адсорбции. Найдены значения термодинамических и кинетических показателей: константа скорости адсорбции –  $0,338-0,43 \cdot 10^{-3} \text{ с}^{-1}$ , значение кажущейся энергии активации – 5,36 кДж/моль.

3. Разработана технология получения сорбента С2. Изучен процесс адсорбции катионов меди сорбентом С2 в динамических условиях. Определено, что сорбент С2 с достаточной эффективностью способен к адсорбции катионов меди из модельного раствора.

4. Усовершенствована система очистки ООО «ЕЛТОНС» путем добавления блока доочистки сорбционным материалом на основе золы растительных отходов. Предложено два режима доочистки: статический – с эффективностью очистки 85,9 % и динамический с эффективностью 97,8 %. Выбран динамический режим. Рассчитан адсорбционный фильтр.

5. Определены пути регенерации отработанного сорбционного материала С2 интенсивным потоком очищенной воды или утилизации в качестве добавки к топливному углю при сжигании. Рассчитаны капитальные затраты на производство 1 т сорбентов С1 и С2, размер предотвращенного экологического вреда и экономическая эффективность от использования предлагаемой технологии очистки сточных вод ООО «ЕЛТОНС».

**Список источников**

1. Николаева Л.А., Аджигитова А.А., Борисова С.Д. Очистка сточных вод промышленных предприятий от ионов тяжелых металлов золой отходов потребления // Вестник Научного центра ВостНИИ по промышленной и экологической безопасности. 2022. № 1. С. 102–109.
2. ИТС 8–2022. Информационно-технический справочник по наилучшим доступным технологиям. Очистка сточных вод при производстве продукции (товаров), выполнении работ и оказании услуг на крупных предприятиях. М.: Бюро НДТ, 2022. 93 с.
3. Митракова Т.Н. Применение материалов естественного происхождения для сорбционной очистки сточных вод от ионов меди (II): дис. ... канд. техн. наук. М.: Рос. гос. ун-т нефти и газа им. И.М. Губкина, 2017. 126 с.
4. Brown P.A., Gill S.A., Allen S.J. Metal removal from wastewater using peat // *Water Research*. 2000. Vol. 34. № 16. P. 3907–3916.
5. Carbon materials from waste short hemp fibers as a sorbent for heavy metal ions – Mathematical modeling of sorbent structure and ions transport / M. Vukcevic [et al.] // *Chemical Engineering Journal*. 2014. Vol. 235. № 1. P. 284–292.
6. Lignocellulose-based materials and their application in the removal of dyes from water: A review / K. Roa [et al.] // *Sustain. Mater. Technol.* 2021. № 29. P. 3–20.
7. Филатова Е.Г. Обзор технологий очистки сточных вод от ионов тяжелых металлов, основанных на физико-химических процессах // *Известия вузов. Прикладная химия и биотехнология*. 2015. № 2 (13). С. 97–109.
8. Николаева Л.А., Аджигитова А.А. Очистка сточных вод промышленных предприятий от ионов меди золой отходов потребления // *Вопросы современной науки и практики*. 2021. № 1 (79). С. 60–68.
9. Николаева Л.А., Аджигитова А.А. Очистка сточных вод промышленных предприятий от ионов меди золой отходов потребления // *Экология и промышленность России*. 2022. № 2. Т. 26. С. 4–8.
10. Yuanyuan L., Ning Ch., Yu-You L., Jianyong L. Anaerobic co-digestion of food waste with municipal solid waste leachate: A review and prospective application with more benefits // *Resources, Conservation and Recycling*. 2021. № 174. P. 54–62.
11. Влияние иницирующей добавки  $\text{CuSO}_4$  на изменение характеристик процессов окисления и пиролиза бурых углей / К.Б. Ларионов [и др.] // *Химия твердого топлива*. 2019. № 2. С. 63–70.
12. Effect of an Initiating Additive of  $\text{CuSO}_4$  on Changes in the Characteristics of Brown Coal Oxidation and Pyrolysis / K.B. Larionov [et al.] // *Solid Fuel Chemistry*. 2019. Vol. 53. № 2. P. 120–127.

**References**

1. Nikolaeva L.A., Adzhigitova A.A., Borisova S.D. Ochistka stochnyh vod promyshlennyh predpriyatij ot ionov tyazhelyh metallov zoloy othodov potrebleniya // *Vestnik Nauchnogo centra VostNII po promyshlennoj i ekologicheskoj bezopasnosti*. 2022. № 1. S. 102–109.
2. ITS 8–2022. Informacionno-tekhnicheskij spravochnik po nailuchshim dostupnym tekhnologiyam. Ochistka stochnyh vod pri proizvodstve produkcii (tovarov), vypolnenii rabot i okazanii uslug na krupnyh predpriyatiyah. M.: Byuro NDT, 2022. 93 s.
3. Mitrakova T.N. Primenenie materialov estestvennogo proiskhozhdeniya dlya sorbcionnoj ochistki stochnyh vod ot ionov medi (II): dis. ... kand. tekhn. nauk. M.: Ros. gos. un-t nefiti i gaza im. I.M. Gubkina, 2017. 126 s.
4. Brown P.A., Gill S.A., Allen S.J. Metal removal from wastewater using peat // *Water Research*. 2000. Vol. 34. № 16. P. 3907–3916.

5. Carbon materials from waste short hemp fibers as a sorbent for heavy metal ions – Mathematical modeling of sorbent structure and ions transport / M. Vukcevic [et al.] // *Chemical Engineering Journal*. 2014. Vol. 235. № 1. P. 284–292.
6. Lignocellulose-based materials and their application in the removal of dyes from water: A review / K. Roa [et al.] // *Sustain. Mater. Technol.* 2021. № 29. R. 3–20.
7. Filatova E.G. Obzor tekhnologij ochistki stochnyh vod ot ionov tyazhelyh metallov, osnovannyh na fiziko-himicheskikh processah // *Izvestiya vuzov. Prikladnaya himiya i biotekhnologiya*. 2015. № 2 (13). S. 97–109.
8. Nikolaeva L.A., Adzhigitova A.A. Ochistka stochnyh vod promyshlennyh predpriyatij ot ionov medi zolozh othodov potrebleniya // *Voprosy sovremennoj nauki i praktiki*. 2021. № 1 (79). S. 60–68.
9. Nikolaeva L.A., Adzhigitova A.A. Ochistka stochnyh vod promyshlennyh predpriyatij ot ionov medi zolozh othodov potrebleniya // *Ekologiya i promyshlennost' Rossii*. 2022. № 2. T. 26. S. 4–8.
10. Yuanyuan L., Ning Ch., Yu-You L., Jianyong L. Anaerobic co-digestion of food waste with municipal solid waste leachate: A review and prospective application with more benefits // *Resources, Conservation and Recycling*. 2021. № 174. R. 54–62.
11. Vliyanie iniciiruyushchej dobavki CuSO<sub>4</sub> na izmenenie harakteristik processov okisleniya i piroliza buryh uglej / K.B. Larionov [i dr.] // *Himiya tverdogo topliva*. 2019. № 2. S. 63–70.
12. Effect of an Initiating Additive of CuSO<sub>4</sub> on Changes in the Characteristics of Brown Coal Oxidation and Pyrolysis / K.B. Larionov [et al.] // *Solid Fuel Chemistry*. 2019. Vol. 53. № 2. P. 120–127.

**Информация о статье:**

Статья поступила в редакцию: 16.07.2024; одобрена после рецензирования: 30.07.2024; принята к публикации: 26.08.2024

**The information about article:**

The article was submitted to the editorial office: 16.07.2024; approved after review: 30.07.2024; accepted for publication: 26.08.2024

*Информация об авторах:*

**Николаева Лариса Андреевна**, заведующий кафедрой инженерной экологии и безопасности труда Казанского государственного энергетического университета (420015, Казань, ул. Красносельская, д. 51), доктор технических наук, профессор, e-mail: [larisanik16@mail.ru](mailto:larisanik16@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0002-2163-0453>, SPIN-код: 9652-0146

**Адджигитова Айгуль Айдаровна**, аспирант кафедры инженерной экологии и безопасности труда Казанского государственного энергетического университета (420015, Казань, ул. Красносельская, д. 51), e-mail: [aigul-83@mail.ru](mailto:aigul-83@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0003-3963-3019>, SPIN-код: 6902-7375

*Information about the authors:*

**Nikolaeva Larisa A.**, head of the department of environmental engineering and occupational safety of Kazan state energy university (420015, Kazan, Krasnoselskaya str., 51), doctor of technical sciences, professor, e-mail: [larisanik16@mail.ru](mailto:larisanik16@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0002-2163-0453>, SPIN: 9652-0146

**Adzhigitova Aigul A.**, graduate student of the department of environmental engineering and occupational safety of Kazan state energy university (420015, Kazan, Krasnoselskaya str., 51), e-mail: [aigul-83@mail.ru](mailto:aigul-83@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0003-3963-3019>, SPIN: 6902-7375