

УДК 628.31, 658.567.1

UDC 628.31, 658.567.1

4.3.1. Технологии, машины и оборудование для агропромышленного комплекса (технические науки)

4.3.1 - Technologies, machines and equipment for the agro-industrial complex (technical sciences)

**СОРБЦИОННАЯ ОЧИСТКА СТОЧНЫХ ВОД ОТ ПРЕДПРИЯТИЙ ПРОИЗВОДСТВА СЕЛЬХОЗТЕХНИКИ НА ФАЗОВО-ДИСПЕРСНОМ СЕПАРАТОРЕ С ПРИМЕНЕНИЕМ УГЛЕРОДСОДЕРЖАЩИХ ОТХОДОВ**

**SORPTION TREATMENT OF WASTEWATER FROM AGRICULTURAL MACHINERY PRODUCTION ENTERPRISES ON A PHASE-DISPERSE SEPARATOR USING CARBON-CONTAINING WASTE**

Смоляниченко Алла Сергеевна

Smolyanichenko Alla Sergeevna

к.т.н., доцент

Candidate in Technical Sciences, docent

РИНЦ SPIN-код: 4211-0939

RSCI SPIN-code: 4211-0939

Scopus Author ID: 57204525172

Scopus Author ID: 57204525172

*Донской государственный технический университет, Россия, 344003, г.Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1*

*Don state technical university, Russia, 344003, Rostov-on-Don, sq. Gagarina, 1*

Яковлева Елена Вячеславовна  
аспирант, старший преподаватель

Yakovleva Elena Vyacheslavovna  
Postgraduate, senior lecturer

РИНЦ SPIN-код: 5078-5074

RSCI SPIN-code: 5078-5074

Scopus Author ID: 57194458978

Scopus Author ID: 57194458978

*Донской государственный технический университет, Россия, 344003, г.Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1*

*Don state technical university, Russia, 344003, Rostov-on-Don, sq. Gagarina, 1*

Сажина Ольга Владимировна

Sazhina Olga Vladimirovna

старший преподаватель

senior lecturer

РИНЦ SPIN-код: 9383-6204

RSCI SPIN-code: 9383-6204

*Донской государственный технический университет, Россия, 344003, г.Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1*

*Don state technical university, Russia, 344003, Rostov-on-Don, sq. Gagarina, 1*

В данной статье авторами рассматривается вопрос о невозможности осуществления требуемой очистки сточных вод одного из предприятий сельскохозяйственного машиностроения ввиду высокой степени изношенности существующих очистных сооружений. В свою очередь недостаточная очистка приводит к взысканию с предприятия штрафных санкций, предъявляемых за сброс сточных вод с превышением показателей загрязняющих веществ в природные водоемы или городскую канализацию. В качестве решения указанной проблемы предлагается осуществить ретехнологизацию очистных сооружений путем встраивания новых технологических узлов в существующую схему очистки сточных вод предприятия сельскохозяйственного машиностроения. В лабораторных и промышленных условиях исследован режим сорбции в статических условиях (углевание) химически загрязненных сточных вод предприятия с внесением углеродсодержащих отходов производств в разработанную установку фазово-дисперсной сепарации «Пирамида N». По

In this article, the authors examine the issue of the impossibility of carrying out the required wastewater treatment at one of the agricultural engineering enterprises due to the high degree of deterioration of existing treatment facilities. Insufficient treatment leads to the collection of fines from the enterprise for the discharge of wastewater exceeding the levels of pollutants into natural reservoirs or city sewers. As a solution to the problem, it is proposed to integrate new technological units into the existing wastewater treatment scheme of an agricultural engineering enterprise. In laboratory and industrial conditions, the sorption regime under static conditions of chemically contaminated wastewater from an enterprise was studied with the introduction of carbon-containing industrial waste into the developed «Piramide N» phase-disperse separation installation. Based on the results of the experiments, the effectiveness of the proposed solution was confirmed and recommendations for further research were given

результатам экспериментов была подтверждена эффективность предложенного решения и даны рекомендации к дальнейшим исследованиям

Ключевые слова: ФАЗОВО-ДИСПЕРСНЫЙ СЕПАРАТОР, ПРОИЗВОДСТВЕННЫЕ СТОЧНЫЕ ВОДЫ, УГЛЕРОДСОДЕРЖАЩИЕ ОТХОДЫ ПРОИЗВОДСТВА, РИСОВАЯ ШЕЛУХА, СОРБЕНТЫ, УДАЛЕНИЕ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ

Keywords: PHASE-DISPERSE SEPARATOR, PRODUCTION WASTEWATER, CARBON-CONTAINING INDUSTRIAL WASTE, RICE HUSK, SORBENTS, HEAVY METALS REMOVAL

<http://dx.doi.org/10.21515/1990-4665-207-023>

**Введение.** При развитии промышленного производства, как правило, вводится в эксплуатацию новое оборудование. Однако, та система очистки сточных вод, которая функционирует на промпредприятиях, зачастую, не подлежит замене. Исходя из этого, следует вывод о том, что в настоящее время существует важная социально-экологическая задача, заключающаяся в необходимости увеличить эффективность существующих эксплуатируемых технологий, которые должны обеспечивать очистку сточных вод до норм оборотного водоснабжения или сброса в городскую сеть канализации.

### **Состояние исследований и актуальность проблемы.**

Стандартная схема локальной очистки сточных вод заводов сельскохозяйственного машиностроения включает в себя как правило блок механической, физико-химической очистки, а также доочистки. Механическая очистка состоит из таких сооружений как песколовка для перехватывания песка и выпадения в осадок минеральных загрязнений под действием силы тяжести, нефтеловушка для улавливания нефтепродуктов, масел и плавающих загрязнений. Физико-химическая очистка представлена реакторами, в которых осуществляется процесс коагуляции и флокуляции мелкодисперсных примесей, а также отстойниками, где происходит осаждение хлопьевидного осадка. Доочистка же происходит на механических фильтрах. Представленные сооружения занимают огромные площади ввиду их горизонтального расположения, но главное,

<http://ej.kubagro.ru/2025/03/pdf/23.pdf>

не позволяют очистить химически загрязненные сточные воды до норм сброса в городскую систему водоотведения, что грозит предприятиям значительными штрафными санкциями. Также необходимо отметить высокую степень изношенности существующих очистных сооружений, что зачастую приводит к незапланированным ремонтным работам части сооружений либо к их полной остановке. Для обеспечения бесперебойной работы очистных сооружений является целесообразным их ретехнологизация путем встраивания новых технологических узлов в существующую схему очистки.

**Цель исследований.** Оценить эффективность удаления из сточных вод предприятия сельскохозяйственного машиностроения ионов тяжелых металлов методом фазово-дисперсной сепарации с применением углеродсодержащих отходов производств в режиме углевания.

**Материалы и методы исследований.** Для решения указанной задачи запроектирована установка, предназначенная для предварительной очистки производственных сточных вод путем выделения фазово-дисперсных загрязнений. Данный фазово-дисперсный сепаратор «Пирамида N» (рисунок 1) обеспечивает удаление из сточных вод таких компонентов как взвешенные вещества, нефтепродукты, ПАВ, органические примеси, масла, жиры. [11, 14, 15].

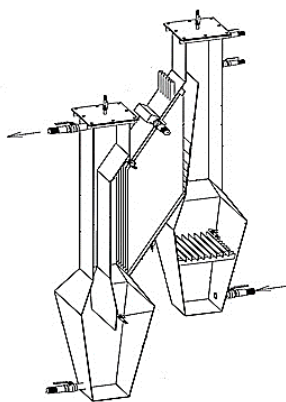


Рисунок 1 – Установка фазово-дисперсной сепарации «Пирамида N»

[6, 7]

«Пирамида N» состоит из двух вертикальных емкостных резервуаров, расположенных последовательно. Исходные сточные воды вместе с реагентом поступают в резервуар, в котором за счет его пирамидальной формы происходит стабилизация потока, здесь же реализуется процесс хлопьеобразования. Данный резервуар оборудуется струенаправляющей перегородкой, а также регулируемой перегородкой с впускными распределительными окнами, предназначенной для подачи осветленных сточных вод на дальнейшую очистку. В верхней части резервуара располагаются трубопроводы отвода нефтепродуктов в напорном и безнапорном режимах работы. Второй по ходу движения резервуар представляет собой корпус уплотнения и накопления шлама, оборудованный перегородкой, направляющей сточные воды через слой сформированного взвешенного фильтра. Резервуары соединены друг с другом камерой тонкослойного отстаивания, в которой имеются трубопроводы промывки тонкослойных модулей, отвода промывочной воды, а также удаления плавающих загрязнений. Оба резервуара снабжены трубопроводами отвода газов в безнапорном режиме работы установки, а также контрольными точками очистки.

Для опытно-промышленной проверки эффективности выделения загрязнений, находящихся в разных фазово-дисперсных состояниях по известной классификации [1], «Пирамида N» была установлена на предприятии сельскохозяйственного машиностроения, являющегося одним из крупнейших производителей сельскохозяйственной техники на Юге России. На рассматриваемом предприятии образуются химически загрязненные сточные воды, поступающие из следующих цехов: механической сборки, сварочного и цеха точного литья. Расход поступающей на очистные сооружения сточной воды на данный момент составляет 23500 м<sup>3</sup>/сут.

В механосборочных цехах происходит обработка металлов, вода используется для охлаждения инструментов, промывки изготовленных деталей и обработки цеховых помещений. Подобное использование воды приводит к ее загрязнению такими веществами как эмульгаторы, абразивная и металлическая пыль, мыла и минеральные масла. Основой загрязнения здесь являются смазочно-охлаждающие жидкости (СОЖ), применяющиеся для обработки деталей на металлорежущих станках, причем механическими частицами вода может загрязняться до концентрации 20,0 г/л. Также при обезжиривании деталей в воду попадают сульфаты и ионы тяжелых металлов ( $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Zn}^{2+}$ ,  $\text{Fe}^{2+}$ ,  $\text{Fe}^{3+}$ ) [2].

Использование воды в литейном цехе обоснованно необходимостью осуществлять операции, связанные с гидравлической выбивкой стержней, промывкой и транспортировкой формочной земли в отделениях регенерации. Также вода используется для обеспечения гидротранспорта отходов горелой земли и необходима для работы обеспыливающей вентиляции. При осуществлении названных операций образуются сточные воды, содержащие песок, глину, зольные остатки, которые образуются при выгорании части стержневой смеси. Также в составе загрязнений могут присутствовать добавки, которые относятся к формочной смеси. Концентрация обозначенных веществ может варьироваться в значительных пределах и достигать величины 5,0 г/л [5] в зависимости от использованного оборудования и вида формочного материала.

В таблице 1 представлены концентрации загрязняющих веществ в исходных сточных водах.

Для доочистки сточных вод от предприятия производства сельскохозяйственной техники после установки «Пирамида N» предложено использование углеродосодержащих отходов в качестве сорбционного материала на стадии доочистки. Данные отходы являются непригодными для производственных целей и утилизируются в отвал. В

случае их использования в качестве сорбента можно не только получить доступ к дешевому сорбционному материалу, но также улучшить экологические условия в районе местоположения производственного предприятия [4,9].

Таблица 1 – Состав и концентрация загрязнений в сточных водах

Показатели	Концентрации загрязнений в сточных водах, мг/дм <sup>3</sup>		Нормативы состава сточных вод, мг/дм <sup>3</sup> (НССВ) [8]
	средние	максимальные	
1	2	3	4
Взвешенные вещества	530	939	228,72
Алюминий (Al <sup>3+</sup> )	1,9	2,3	0,86
Медь (Cu <sup>2+</sup> )	1,5	0,8	0,01
Цинк (Zn <sup>2+</sup> )	15	47	0,03
Железо (Fe <sub>общ.</sub> )	5,88	19,3	0,56
Хлориды (Cl)	300	460	210,85
Сульфаты (SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> )	492	730	231,89
Нефтепродукты	200	310	0,91

Для исследования были выбраны следующие углеродсодержащие отходы:

- «Уголь» – углеродсодержащий отход (УСО), который образуется на электродном заводе ООО «НЗСЭ», расположенном в г. Новочеркасске Ростовской области;

- «Шихта» – термически обработанный антрацит обогатительной фабрики шахты «Обуховская», расположенной в г. Гуково Ростовской области;

- «Биоуголь» рисовой шелухи с электромагнитной обработкой в установке активации процессов (УАП), полученный путем карбонизации исходного материала из шелухи в муфельной печи при температуре 600°C в течение 30 минут с предварительной щелочной обработкой [16].

**Результаты исследований.**

В таблицах 2 и 3 представлены результаты испытания «Угля» [3] и «Шихты» [10].

Таблица 2 – Результаты испытания углеродсодержащего отхода «Уголь»

Фракции, мм	Плотность, г/см <sup>3</sup>	Межзерновая пористость, %		Измельчаемость, %	Истираемость, %	Сухой остаток, мг/л прирост	Окисляемость O <sub>2</sub> , мг/л	Иодное число, мг/г	Адсорбционная активность по метиленовому голубому, мг/г
		max	min						
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0,5-1,0	1,54	63,0	61,0	1,0	0,2	10,0	3,32	76	22

Таблица 3 – Результаты испытания термически обработанного антрацита «Шихта»

Иодное число, мг/г	Адсорбционная активность по метиленовому голубому, мг/г	Химическая стойкость в модельном растворе 0,017% соляной кислоты, мг/дм <sup>3</sup>				Истираемость, % (соляная кислота)	Измельчаемость, % (соляная кислота)
		Прирост окисляемости	Прирост массовой концентрации H <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub> в пересчете на Si	Прирост сухого остатка	Прирост суммарной массовой концентрации Al и Fe в пересчете на оксиды (III)		
1	2	3	4	5	6	7	8
88	22	2,1	7,2	15	1,8	0,3	2

Химический состав был определен методом энергодисперсионной рентгеновской спектроскопии на электронном микроскопе (Zeiss, Германия), а также получены фотографии поверхности «шихты» с разрешением 1 и 20 нм (рисунок 2).

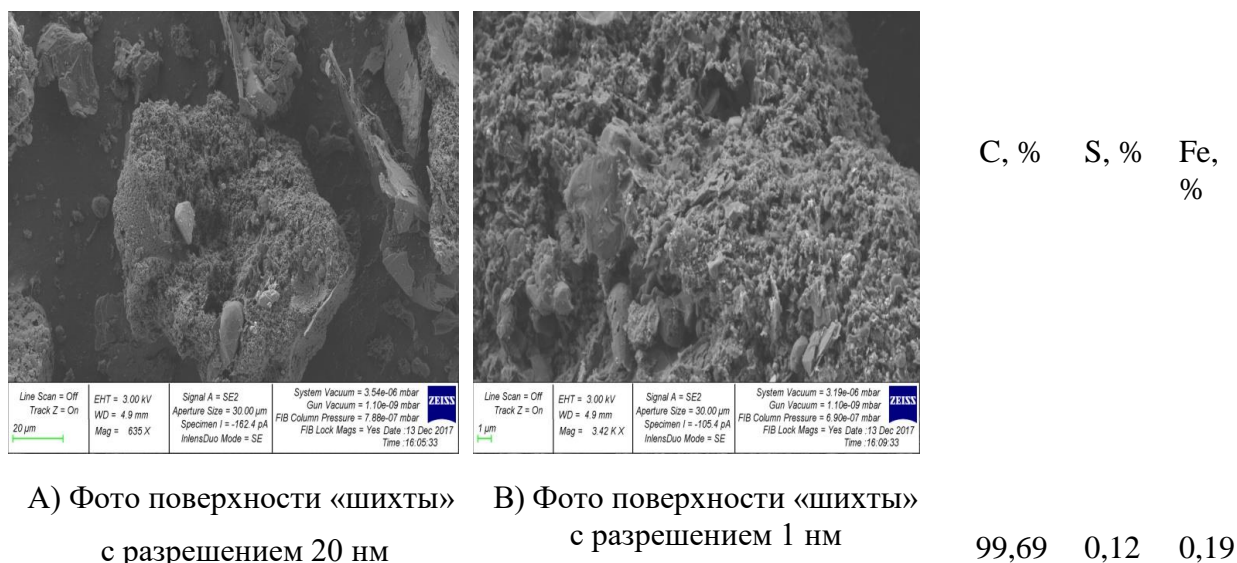


Рисунок 2 – Результаты анализов, полученных на электронном микроскопе (Zeiss, Германия)

В таблицы 4 и 5 внесены физико-химические характеристики и химический состав полученных образцов «биоугля» [12].

Таблица 4 – Физико-химические характеристики полученных образцов «биоугля»

Зольность, %	Содержание влаги, %	Удельная поверхность, м <sup>2</sup> /г	Относительный объем пор диаметром до 900 Å, см <sup>3</sup> /г	Средний диаметр мезопор по десорбции, Å	Объем микропор, см <sup>3</sup> /г	Средний диаметр микропор, Å	Адсорбционная активность по йоду, %	Адсорбционная активность по метиленовому голубому, %
1	2	3	4	5	6	7	8	9
61,2	3,3	7,93	0,042	167	0,0033	4,92	14	-

Таблица 5 – Химический состав полученных образцов «биоугля»

Хим. элемент	C, %	O, %	Si, %	K, %	Ca, %	Mg, %	Na, %	Cl, %	Fe, %	Al, %
Значение	78,5	18,5	2,1	0,5	0,1	0,1	0,1	-	0,1	-

Фотография поверхности данного сорбента с разрешением 1 нм представлена на рисунке 3.



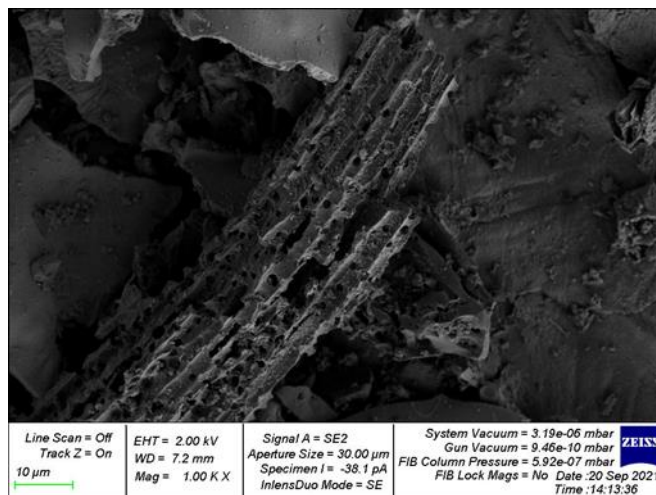
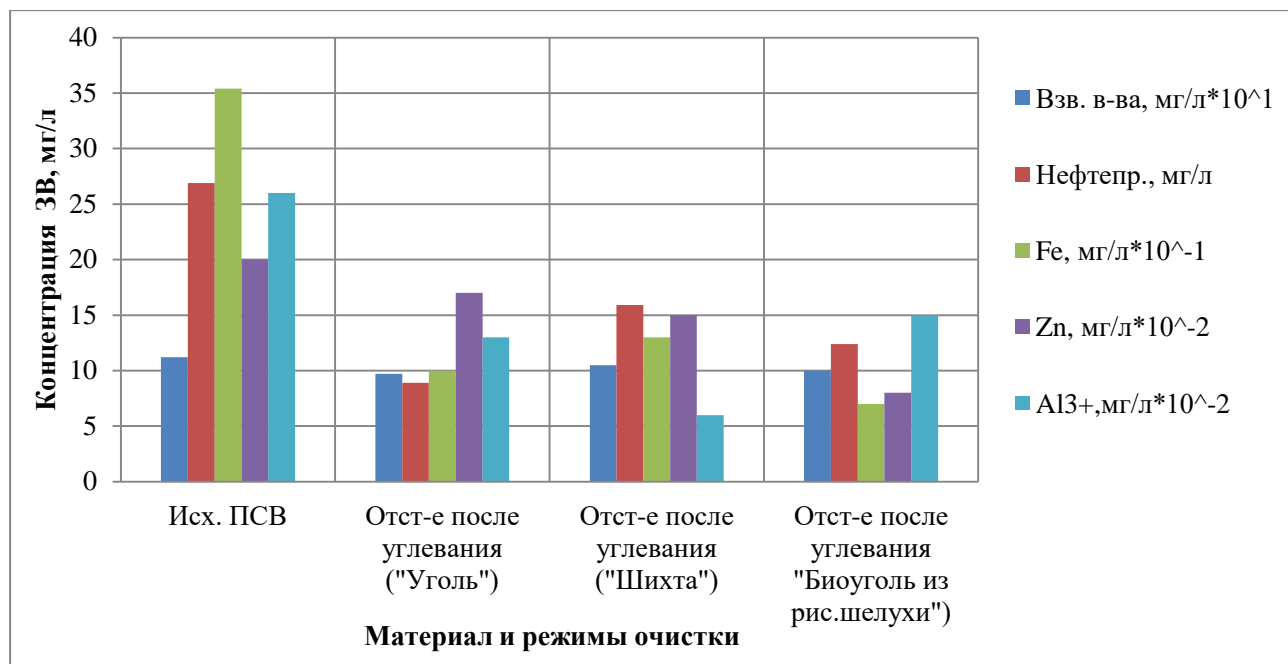


Рисунок 3 – Фото поверхности «биоуголя» с разрешением 1 нм

Проведение лабораторных испытаний заключалось в добавлении углеродсодержащих отходов фракцией 0,1-0,3 мм в химически загрязнённые сточные воды для моделирования режима углевания (сорбция в статических условиях) [13] в следующем порядке:

1. Добавление в исходные сточные воды углеродсодержащего сорбента дозой 0,5 г/л ( $500 \text{ г/м}^3$ ) и СКФ-180 (смесового реагента, обладающего коагулирующими и флокулирующими свойствами) дозой 1 мг/л.
2. Перемешивание с помощью флокулятора (марки ПЭ-8800, Экрос) в режиме 45 об/мин в течение 20 мин.
3. Отстаивание проб в течение 30 мин.
4. Фильтрация надосадочной жидкости через бумажный фильтр.

На рисунках 4 и 5 отражены полученные результаты лабораторных исследований после проведения процесса углевания с применением исследуемых сорбентов.



\*Значение рН находилось в диапазоне 7,9-8,2.

Рисунок 4 – Концентрации загрязняющих веществ в сточных водах до и после углевания

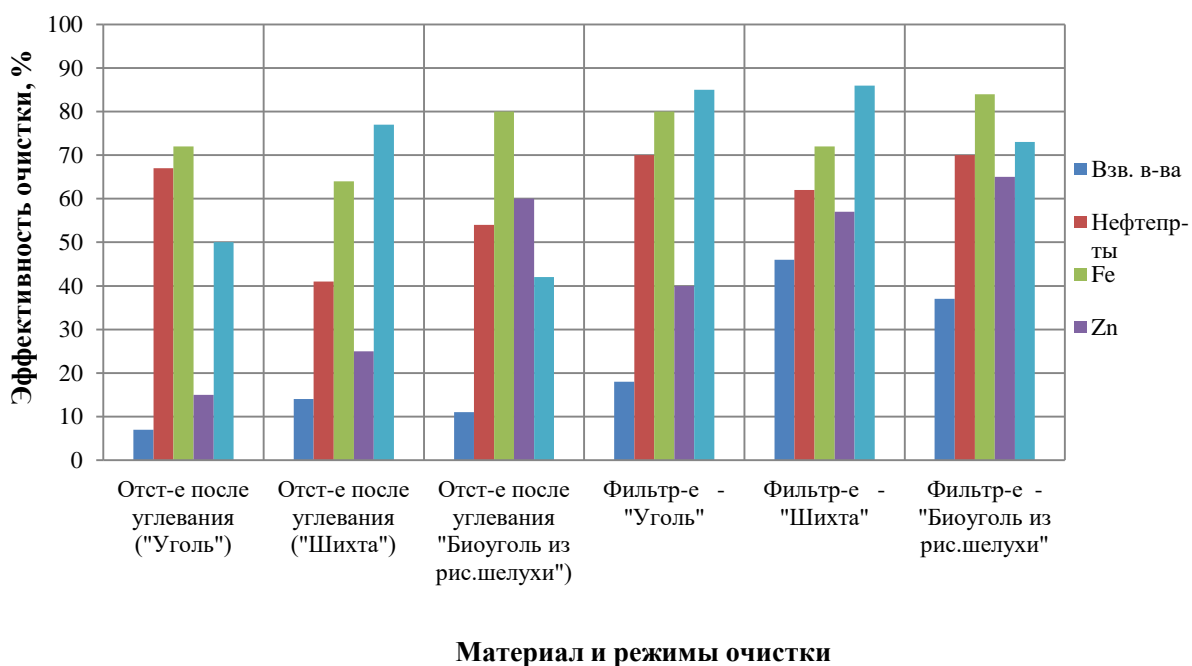


Рисунок 5 – Эффективность очистки сточных вод при отстаивании после углевания с последующим фильтрованием

Проанализировав полученные данные после отстаивания, можно сделать вывод о том, что наибольшей эффективностью при очистке данного вида сточных вод от нефтепродуктов обладает сорбент «Уголь» (67%). При использовании «Биоугля» достигается максимальная эффективность при удалении цинка – 60%. В то же время при применении в качестве сорбента «Шихты» концентрацию алюминия в сточных водах удалось снизить на 70%. Если рассматривать эффективность данных сорбентов по остальным параметрам, то здесь можно судить о наличии сравнительно равных результатов: по взвешенным веществам 11-14%, по железу 65-80%. После фильтрования оставшегося во взвешенном состоянии сорбента с задержанными в его порах загрязняющимися веществами через бумажный фильтр по всем рассматриваемым параметрам эффективность очистки еще увеличивается на 10-30%. Исходя из этого, можно сделать вывод о том, что исследуемые сорбционные материалы обладают несомненным потенциалом для промышленного использования.

При проведении исследований в опытно-промышленных условиях в режиме углевания осуществлялась дозировка «Угля», «Шихты» и «Биоугля» крупностью 0,1-0,3 мм в установку «Пирамида N» с применением СКФ-180 (смесового реагента, обладающего коагулирующими и флокулирующими свойствами) дозой 1 мг/л.

Результаты опытно-промышленного эксперимента отражены в таблице 6.

Таблица 6 – Результаты опытно-промышленного эксперимента по углеванию сточных вод с использованием углеродсодержащих сорбентов фракцией 0,1÷0,3 мм дозой 0,5 г/л (500 г/м<sup>3</sup>)

Определяемые показатели	Концентрации загрязнений в сточных водах до и после обработки									НССВ, мг/дм <sup>3</sup>
	«Уголь»			«Шихта»			«Биоугля рисовой шелухи»			
	Исх. СВ	ОСВ	Эф-ть, %	Исх. СВ	ОСВ	Эф-ть, %	Исх. СВ	ОСВ	Эф-ть, %	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Взвешенные вещества, мг/дм <sup>3</sup>	176,0	165,0	6	60,0	57,0	5	250,0	235,0	6	228,72
Нефтепродукты, мг/дм <sup>3</sup>	12,60	8,02	36	8,38	7,25	13	14,30	10,73	25	0,91
Железо (Fe <sub>общ.</sub> ), мг/дм <sup>3</sup>	1,65	0,79	50	1,90	1,25	34	3,99	1,84	54	0,56
Цинк (Zn <sup>2+</sup> ), мг/дм <sup>3</sup>	0,10	0,10	0	0,10	0,10	0	0,153	0,05	67	0,03
Алюминий (Al <sup>3+</sup> ), мг/дм <sup>3</sup>	0,44	0,39	11	0,36	0,29	28	0,56	0,50	10	0,86
Медь (Cu <sup>2+</sup> ), мг/дм <sup>3</sup>	0,008	0,008	0	0,008	0,008	0	0,012	0,008	33	0,01

\*Температура обрабатываемой воды была в диапазоне 13÷15°C, pH=8,3÷8,8.

### Выводы.

По результатам промышленного эксперимента установлено, что углеродсодержащий отход «Уголь» обладает большей эффективностью при очистки сточных вод от нефтепродуктов (36%) и железа (50%). Использование «Биоугля» позволяет удалить 67% цинка и 54% железа. Сорбент «Шихта» обеспечил извлечение 28% алюминия. Таким образом, можно рекомендовать либо совместное применение данных сорбентов в необходимых пропорциях, либо самостоятельное при преобладании того или иного типа загрязнения в исходных сточных водах промышленного предприятия.

Однако для того, чтобы добиться очистки воды до качества, соответствующего требуемым на данном предприятии нормам оборотного водоснабжения (например, для использования очищенной воды для

промывки деталей), рекомендуется провести эксперимент по фильтрованию отстоянной сточной воды на фильтрах, загруженных углеродсодержащими сорбентами из отходов производств фракцией 0,8 – 2,2 мм (сорбция в динамическом режиме).

### Литература

1. Абросимов, М. В. Дополнения к классификации фазово-дисперсных состояний примесей в воде / М. В. Абросимов, Н. С. Серпокровлов, Е. В. Яковлева // Технологии очистки воды "ТЕХНОВОД-2018": Материалы XI Международной научно-практической конференции, Сочи, Красная Поляна, 11–14 декабря 2018 года. – Сочи, Красная Поляна: ООО "Лик", 2018. – С. 79-84.

2. Батршина, Л. Э. Очистка сточных вод машиностроительных предприятий / Л. Э. Батршина, Е. В. Серазеева, Э. Р. Бариева // Вестник магистратуры. – 2016. – № 7-2(58). – С. 5-8.

3. Веселовская, Е.В. Об очистке и доочистке нефтесодержащих сточных вод на новых фильтрующих материалах [Текст] / Е.В. Веселовская, М.С. Юсупов // Очистка природных и сточных вод: Сб. тр./ Рост. гос. акад. стр-ва. – Ростов н/Д, 1992. – С.21-23.

4. Вильсон, Е.В. Оптимизация доочистки биологически очищенных сточных вод на антрацитах шахты «Обуховская» [Текст] / Е.В. Вильсон, А.А. Марочкин, А.Ф. Садовников // Материалы IV Междунар.науч.-практ.конф. «Человек и окружающая среда–проблема взаимодействия». – Пенза, 2001 – С.115–117.

5. Дягилева, А.Б. Промышленная экология ч.2. [Текст] / А.Б. Дягилева, А.В. Лоренцсон. – СПб: СПбГУРП, 2012г. – 110 с.

6. Патент на полезную модель № 139206 U1 Российская Федерация, МПК C02F 3/00. устройство для разделения фазовых загрязнений сточных вод: № 2013143914/05: заявл. 30.09.2013: опубл. 10.04.2014 / Н. С. Серпокровлов, Е. В. Яковлева, Е. В. Самсонова, П. О. Банников; заявитель федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Ростовский государственный строительный университет", РГСУ.

7. Патент на полезную модель № 145906 U1 Российская Федерация, МПК B01D 21/02. Устройство для разделения фазовых загрязнений сточных вод: № 2013107088/05: заявл. 18.02.2013: опубл. 27.09.2014 / Н. С. Серпокровлов, Е. В. Яковлева; заявитель федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Ростовский государственный строительный университет" РГСУ.

8. ПОСТАНОВЛЕНИЕ АДМИНИСТРАЦИИ ГОРОДА РОСТОВА-НА-ДОНУ от 15 октября 2020 года N 1074 Об установлении нормативов состава сточных вод, сбрасываемых в централизованную систему водоотведения (канализации) города Ростова-на-Дону.

9. Серпокровлов, Н.С. Использование материалов отвалов электродных заводов в технологических процессах очистки воды [Текст] / Н.С. Серпокровлов, Е.В. Веселовская // Очистка природных и сточных вод» / Межвуз. сб. тр. – Ростов н/Д: РГАС, 1992. – С. 34 - 40.

10. Серпокровлов, Н.С. Использование отходов электродных заводов в технологических процессах очистки вод [Текст] / Н.С.Серпокровлов, Е.В. Веселовская,

В.А.Коломиец // Синтез неорганических сорбентов и применение их для очистки сточных вод: Тезисы докладов. – Челябинск, 1990. – С.48.

11. Смоляниченко А.С., Яковлева Е.В. Автоматизация работы установки «Пирамида N» очистки производственных сточных вод. В книге: Актуальные проблемы науки и техники. 2020. Материалы национальной научно-практической конференции. Отв. редактор Н.А. Шевченко. 2020. С. 374-377.

12. Смоляниченко А.С., Яковлева Е.В. Очистка производственных сточных вод от ионов тяжелых металлов углеродным сорбентом с электромагнитной обработкой (на примере шахтных вод). Известия высших учебных заведений. Порошковая металлургия и функциональные покрытия. 2024. Т. 18. № 2. С. 35-44.

13. Яковлева, Е.В. Интенсификация очистки химически загрязненных производственных сточных вод углеванием [Текст] / Е.В. Яковлева, А.В. Никифорова, Г.С. Хачатурян, Е.В. Самсонова // Технология очистки воды «Техновод – 2014»: Материалы VIII Междунар. научн. практ. конф. / Сочи, 23-24 октября 2014 г. / ЮРГТУ (НПИ). – Новочеркасск: НПО «Лик», 2014. – С. 158-163.

14. Яковлева Е.В., Серпокрялов Н.С., Самсонова Е.В., Хачатурян Г.С., Банников П.О., Ермаченко П.А. Оптимизация опытно-промышленной очистки химически загрязненных сточных вод заводов машиностроительного профиля. Вода: химия и экология. 2015. № 4. С. 21-29.

15. Smolyanichenko A.S., Yakovleva E.V. Optimization of the process of industrial wastewater treatment by disaggregation of phase-dispersed contaminants. Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture. 2022. Т. 14. № 6. С. 34-50.

16. Tzurikova E., Smolyanichenko A., Bondarenko A. Analysis of the efficiency of industrial water purification from heavy metals with a carbon-containing sorbent. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. Ser. "Fundamental and Applied Scientific Research in the Development of Agriculture in the Far East, AFE 2021 - Papers" 2021. С. 042055.

## References

1. Abrosimov, M. V. Dopolneniya k klassifikatsii fazovo-dispersnykh sostoyaniy primesey v vode / M. V. Abrosimov, N. S. Serpokrylov, E. V. Yakovleva // Tekhnologii ochistki vody "TEKHNOVOD-2018" : Materialy XI Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii, Sochi, Krasnaya Polyana, 11–14 dekabrya 2018 goda. – Sochi, Krasnaya Polyana: ООО "Лик", 2018. – S. 79-84.

2. Batrshina, L. E. Ochistka stochnykh vod mashinostroitel'nykh predpriyatiy / L. E. Batrshina, Ye. V. Serazeyeva, E. R. Bariyeva // Vestnik magistratury. – 2016. – № 7-2(58). – S. 5-8.

3. Veselovskaya, E.V. Ob ochistke i doochistke neftesoderzhashchikh stochnykh vod na novykh fil'truyushchikh materialakh [Tekst] / E.V. Veselovskaya, M.S. Yusupov // Ochistka prirodnnykh i stochnykh vod: Sb. tr./ Rost. gos. akad. str-va. – Rostov n/D, 1992. – S.21-23.

4. Vil'son, E.V. Optimizatsiya doochistki biologicheskii ochishchennykh stochnykh vod na antratsitakh shakhty «Obukhovskaya» [Tekst] / E.V. Vil'son, A.A. Marochkin, A.F. Sadovnikov // Materialy 1V Mezhdunar.nauch.-prakt.konf. «Chelovek i okruzhayushchaya sreda–problema vzaimodeystviya».–Penza, 2001 – С.115–117.

5. Dyagileva, A.B. Promyshlennaya ekologiya ch.2. [Tekst] / A.B. Dyagileva, A.V. Lorentsson. – SPB: SPBGURP, 2012g. – 110 s.

6. Patent na poleznuyu model' № 139206 U1 Rossiyskaya Federatsiya, MPK C02F 3/00. ustroystvo dlya razdeleniya fazovykh zagryazneniy stochnykh vod: № 2013143914/05: zayavl. 30.09.2013: opubl. 10.04.2014 / N. S. Serpokrylov, E. V. Yakovleva, E. V. Samsonova,

P. O. Bannikov; заявитель федеральной государственной бюджетной образовательной организации высшего профессионального образования "Ростовский государственный строительный университет", RGSU.

7. Patent na poleznuyu model' № 145906 U1 Rossiyskaya Federatsiya, MPK B01D 21/02. Ustroystvo dlya razdeleniya fazovykh zagryazneniy stochnykh vod: № 2013107088/05: заявл. 18.02.2013: opubl. 27.09.2014 / N. S. Serpokyrov, E. V. Yakovleva; заявитель федеральной государственной бюджетной образовательной организации высшего профессионального образования "Ростовский государственный строительный университет" RGSU.

8. POSTANOVLENIYE ADMINISTRATSII GORODA ROSTOVA-NA-DONU ot 15 oktyabrya 2020 goda N 1074 Ob ustanovlenii normativov sostava stochnykh vod, sbrasyvayemykh v tsentralizovannuyu sistemu vodootvedeniya (kanalizatsii) goroda Rostova-na-Donu.

9. Serpokyrov, N.S. Ispol'zovaniye materialov otvalov elektrodnykh zavodov v tekhnologicheskikh protsessakh ochistki vody [Tekst] / N.S. Serpokyrov, E.V. Veselovskaya // Ochistka prirodnykh i stochnykh vod» / Mezhevuz. sb. tr. – Rostov n/D: RGAS, 1992. – С. 34 - 40.

10. Serpokyrov, N.S. Ispol'zovaniye otkhodov elektrodnykh zavodov v tekhnologicheskikh protsessakh ochistki vod [Tekst] / N.S.Serpokyrov, E.V. Veselovskaya, V.A.Kolomiyets // Sintez neorganicheskikh sorbentov i primeneniye ikh dlya ochistki stochnykh vod: Tezisy dokladov. – Chelyabinsk, 1990. – S.48.

11. Smolyanichenko A.S., Yakovleva E.V. Avtomatizatsiya raboty ustanovki «Piramida N» ochistki proizvodstvennykh stochnykh vod. V knige: Aktual'nyye problemy nauki i tekhniki. 2020. Materialy natsional'noy nauchno-prakticheskoy konferentsii. Otv. redaktor N.A. Shevchenko. 2020. S. 374-377.

12. Smolyanichenko A.S., Yakovleva E.V. Ochistka proizvodstvennykh stochnykh vod ot ionov tyazhelykh metallov uglerodnym sorbentom s elektromagnitnoy obrabotkoy (na primere shakhtnykh vod). Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Poroshkovaya metallurgiya i funktsional'nyye pokrytiya. 2024. T. 18. № 2. S. 35-44.

13. Yakovleva, E.V. Intensifikatsiya ochistki khimicheskikh zagryazneniykh proizvodstvennykh stochnykh vod uglevaniyem [Tekst] / E.V. Yakovleva, A.V. Nikiforova, G.S. Khachatryan, Ye.V. Samsonova // Tekhnologiya ochistki vody «Tekhnovod – 2014»: Materialy VIII Mezhdunar. nauchn. prakt. konf. / Sochi, 23-24 oktyabrya 2014 g. / YURGTU (NPI). – Novocherkassk: NPO «Lik», 2014. – С. 158-163.

14. Yakovleva E.V., Serpokyrov N.S., Samsonova E.V., Khachatryan G.S., Bannikov P.O., Ermachenko P.A. Optimizatsiya opytno-promyshlennoy ochistki khimicheskikh zagryazneniykh stochnykh vod zavodov mashinostroitel'nogo profilya. Voda: khimiya i ekologiya. 2015. № 4. S. 21-29.

15. Smolyanichenko A.S., Yakovleva E.V. Optimization of the process of industrial wastewater treatment by disaggregation of phase-dispersed contaminants. Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture. 2022. T. 14. № 6. С. 34-50.

16. Tzurikova E., Smolyanichenko A., Bondarenko A. Analysis of the efficiency of industrial water purification from heavy metals with a carbon-containing sorbent. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. Ser. "Fundamental and Applied Scientific Research in the Development of Agriculture in the Far East, AFE 2021 - Papers" 2021. С. 042055.