РЕШЕНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ПРОБЛЕМ

DOI: 10.15828/2075-8545-2020-12-4-204-210
УДК 628.349
Тип статьи: Оригинальная статья

Исследование флокулирующего действия озона на сточные воды деревообрабатывающих предприятий

А.К. Мазитова, И.А. Сухарева*, Г.М. Сидоров, Л.К. Абдрахманова, Е.В. Кузнецова
ФГБОУ ВО «Уфимский государственный нефтяной технический университет»,
г. Уфа, Республика Башкортостан, Россия
*** Контакты:** e-mail: suxareva-ira@yandex.ru

РЕЗЮМЕ: Стоки деревообрабатывающих предприятий строительной отрасли характеризуются высоким содержанием взвешенных и растворённых токсичных веществ, в том числе фенола, и большим значением химического потребления кислорода (ХПК). При этом некоторые предприятия не имеют своих локальных очистных сооружений и нуждаются в разработке собственных комплексных систем очистки. Одним из эффективных методов удаления загрязнений является озонирование сточных вод, применяющееся в трёх вариантах: флокуляция небольшими дозами озона (предозонирование) на начальном этапе для удаления взвешенных веществ, окислительное озонирование и обеззараживание. Однако методы очистки сточных вод деревообрабатывающих комбинатов с применением озона изучены недостаточно. Поэтому нами исследовано флокулирующее действие озона в процессе очистки стоков фанерно-плитного комбината, испытано влияние дозы озона при флокуляции в присутствии небольшого количества коагулянтов ВПК-402 и Каустамин-15 на концентрацию взвешенных веществ, фенола и значение ХПК. ВПК-402 и Каустамин-15 – реагенты местного производства, малотоксичны и разрешены к использованию в очистке даже питьевой воды. Результаты проведённых экспериментов по предозонированию сточных вод показали высокую эффективность данного метода, позволяющего снизить ХПК в 3,8 (ВПК-402) и 2,3 раза (Каустамин-15), содержание фенола в 2,9 (ВПК-402) и 1,9 раз (Каустамин-15), содержание взвешенных веществ в 4,0 (ВПК-402) и 3,5 раз (Каустамин-15). Использование предозонирования позволяет полностью отказаться от флокулянтов в физико-химической стадии очистки сточной воды. Коагуляцию-флокуляцию можно успешно проводить с помощью озона и коагулянта в небольших дозах 2–5 и 40 мг/дм^3 (ВПК-402) или 50 мг/дм^3 (Каустамин-15) соответственно в течение 5 минут. Улучшились физико-химические показатели качества воды по сравнению с очисткой только коагулянтом: ХПК снизилось на 23%, содержание фенола на 55%, взвешенных веществ на 22%. Применение озона в качестве флокулянта при осветлении сточных вод снижает расходы на реагенты, предупреждает вторичное загрязнение воды, повышает эффективность дальнейшей окислительной очистки.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: коагулянт, флокулянт, озонирование, сточные воды деревообрабатывающих предприятий.

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Мазитова А.К., Сухарева И.А., Сидоров Г.М., Абдрахманова Л.К., Кузнецова Е.В. Исследование флокулирующего действия озона на сточные воды деревообрабатывающих предприятий // Нанотехнологии в строительстве. – 2020. – Том 12, № 4. – С. 204–210. – DOI:10.15828/2075-8545-2020-12-4-204-210.

ВВЕДЕНИЕ

Производство древесностружечных материалов сопровождается загрязнением сточных вод большим количеством взвешенных и растворенных токсичных веществ, в том числе фенола,приводящим к значительному повышению показателя химического потребления кислорода (ХПК), цветности и мутности. При этом некоторые предприятия не имеют своих локальных очистных сооружений и нуждаются в разработке собственных комплексных систем очистки. На начальном этапе технологической схемы очистки таких стоков необходимым процессом является осаждение растворенных и взвешенных веществ. Ранее нами исследован данный метод очистки с применением различных коагулянтов и флокулянтов [1–3]. Эффективность и экономичность процессов коагуляционной очистки сточных вод определяются устойчивостью дисперсной системы, которая зависит от ряда факторов: степени дисперсности, характера поверхности частиц, величины электрокинетического потенциала, химической природы при-

© Мазитова А.К., Сухарева И.А., Сидоров Г.М., Абдрахманова Л.К., Кузнецова Е.В., 2020

месей (наличия электролитов, высокомолекулярных веществ), концентрации примесей и т.д. На практике водоочистки используют разные коагулянты [4–7]. Наиболее широкое распространение получили соединения алюминия, железа, магния и кальция. Особенностью коагуляционной очистки сточных вод является необходимость применения коагулянтов, не вызывающих вторичного загрязнения воды. Нами подобраны наиболее эффективные коагулянты и флокулянты и их оптимальные дозы для очистки сточных вод фанерно-плитных комбинатов. В качестве коагулянтов испытаны растворы сульфата алюминия, хлорида железа (III), сульфата железа (II) и оксихлорида алюминия (ОХА) и определены их оптимальные дозы: $Al_2(SO_4)_3$ – 268 мг/дм^3, $FeCl_3$ – 80 мг/дм^3, $FeSO_4$ –180 мг/дм^3, ОХА – 165 мг/дм^3. Для максимального извлечения загрязнений процесс коагуляции осуществляли в диапазоне оптимальных величин pH, которые непосредственно связаны с pH существования соответствующих коагулянтам гидроксидов. Наибольший эффект очистки сточных вод при использовании в качестве коагулянта на основе солей алюминия достигается в интервале значений pH среды от 6,5 до 8; при использовании солей железа – в интервале значений pH от 4,1 до 14,0 [8]. В качестве флокулянтов нами испытаны 0,1% раствор полиакриламида (ПАА), 0,5% раствор активированной кремниевой кислоты (АКК), и 0,1% раствор катионного полиакриламида марки REFFC. Оптимальные дозы флокулянтов составляют: ПАА – 45 мг/дм^3, АКК – 53 мг/дм^3, REFFC – 40 мг/дм^3. Результаты сравнительного анализа влияния природы коагулянта и флокулянта на степень очистки сточных вод фанерно-плитного комбината показали лучшие результаты при сочетании ПАА и ОХА (ХПК снижается до 2100 мг O_2/дм^3), REFFC и ОХА (ХПК снижается до 2110 мг O_2/дм^3); при сочетании ПАА и $Al_2(SO_4)_3$, REFFC и ОХА содержание формальдегида в воде снижается до 0,05 мг/дм^3; использование коагулянта ОХА в сочетании с флокулянтом REFFC позволяет снизить концентрацию фенола до 1,0 мг/дм^3. В итоге наиболее эффективным коагулянтом является ОХА в присутствии флокулянта REFFC: содержание фенола понизилось в 2,6 раз, ХПК при этом уменьшается в 3,6 раза.

Из литературы известно использование озона на начальной стадии обработки воды в дозе, вызывающей флокулирующее действие (предозонирование) [3, 9–19]. Применение озона в качестве флокулянта позволяет избежать вторичного загрязнения сточных вод традиционными реагентами – осадителями за счет снижения их дозы либо полной их отмены. Однако методы очистки сточных вод деревообрабатывающих предприятий строительной отрасли с применением озона изучены недостаточно. Поэтому нами исследовано флокулирующее действие озона на стоки фанерно-плитного комбината в присутствии малотоксичных коагулянтов с целью осаждения взвешенных веществ, снижения показателя ХПК и содержания фенола. Среди большого количества представленных на рынке РФ зарубежных и отечественных коагулянтов наиболее привлекательны с экономической точки зрения продукты отечественных компаний: ВПК-402 и Каустамин-15, выпускаемые АО «Башкирская содовая компания». Следует отметить, что указанные реагенты выпускаются на предприятии довольно длительное время и пользуются стабильным спросом у потребителей. Полиэлектролит водорастворимый катионного типа ВПК-402, или полиДАДМАХ, представляет собой высокомолекулярное соединение линейно-циклической структуры – полидиаллилдиметиламмоний хлорид [20]. Молекулярная масса от 10^4 до 10^6, катионный заряд расположен на вторичной цепи [21]. ВПК-402 выпускается в различных модификациях: для очистки питьевой и промышленной воды. ВПК-402 используется в качестве коагулянта и флокулянта для интенсификации процессов очистки сточных вод нефтеперерабатывающей, целлюлозно-бумажной, угольной и химической промышленности, очистки растворов антибиотиков в медицинской промышленности, потребителями данного продукта являются также предприятия водоканалов. Полиэлектролит водорастворимый катионного типа Каустамин-15, или полиЭХГДМА, является четвертичным полиамином – полимером на основе эпихлоргидрина и диметиламина [22]. Относительная молекулярная масса составляет от 10^4 до 10^6; устойчив к хлорированию, совместим при смешивании с неорганическими коагулянтами. В отличие от других полиэлектролитов, катионный заряд располагается на главной молекулярной цепи, что создает коагулирующее действие даже в сильно загрязненных водах. Он применяется для очистки питьевой воды в системах хозяйственно-бытового водоснабжения, для интенсификации процессов осаждения взвешенных частиц, активного ила, при обезвоживании осадков городских и производственных сточных вод, для очистки сточных вод углеобогатительных фабрик, лакокрасочных и нефтеперерабатывающих заводов, для очистки промышленных сточных вод от минеральных загрязнений, обработки бумаги и текстиля, в процессах коагуляции каучуков. В связи с этим нами проведено исследование эффективности очистки сточных вод фанерно-плитного комбината озонированием в присутствии небольшого количества доступных малотоксичных коагулянтов ВПК-402 и Каустамин-15, стабильных при любых pH.

МЕТОДЫ И МАТЕРИАЛЫ

Состав исходной исследуемой воды приведен в предыдущей статье [23],температура воды при проведении экспериментов 22–24°С. Для осветления сточной воды фанерно-плитного комбината нами испытаны водные растворы коагулянтов: Каустамин-15 и ВПК-402. Предварительно было установлено, что оптимальная концентрация должна быть равна 1% масс. Для этого в восемь мерных цилиндров емкостью 0,5 л наливали исследуемую воду до метки. Затем в цилиндры добавляли различное количество миллилитров 1% раствора коагулянта с дозой 5, 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70 мг/дм^3 (из расчета получения различных доз коагулянта в диапазоне, охватывающем предполагаемую оптимальную дозу). Содержимое во всех цилиндрах быстро перемешивали в течение 15–20 секунд, затем медленно в течение 3– 5 минут. Измеряли время выпадения хлопьев, по которому определена оптимальная доза коагулянта. Для производства озона использовали озоногенератор ОГВК-02К, для обеспечения ввода озонокислородной смеси в воду и контакта с примесями – реактор объемом 1 дм^3; прибор контроля концентрации озона в воде – фотометр «Эксперт-003». В обрабатываемую воду, содержащую оптимальную дозу коагулянта, подавали озон с помощью пористого керамического диспергатора. Флокуляцию проводили в непроточном режиме, в вытяжном шкафу. Озон вводили в различных дозах (от 1,0 до 7,0 мг/дм^3) при интенсивном перемешивании сточной воды в течение 5 минут.Затем реактор с обработанной водой оставляли в покое, измеряя время выпадения хлопьев, по которому определены оптимальные дозы озона. Массовую концентрацию взвешенных веществ измеряли гравиметрическим методом (ПНД Ф 14.1:2:4.254-09). Массовую концентрацию фенола измеряли фотометрическим методом после отгонки с водяным паром (ПНД Ф 14.1:2.105-97).Показатель ХПК (химическое потребление кислорода) определяли титриметрическим методом (ПНД Ф 14.1:2:3.100-97).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Нами подобран наиболее эффективный коагулянт и его оптимальная доза для очистки сточных вод фанерно-плитного комбината.Зависимость времени осаждения хлопьев от дозы коагулянтов приведена на рис. 1.

Из полученных данных (рис. 1) определены оптимальные дозы коагулянтов: ВПК-402 – 40 мг/дм^3, Каустамин-15 – 50 мг/дм^3. Эти коагулянты, в отличие от испытанных нами ранее ($Al_2(SO_4)_3$, $FeCl_3$, $FeSO_4$ и ОХА), фактически являются в большей степени адсорбентами, и при этом на поверхности частиц суспензии происходит адсорбция растворенных в воде загрязняющих веществ. Частицы дисперсной фазы суспензии являются центрами хлопьеобразования и одновременно утяжелителями, благодаря чему происходит ускорение процесса коагуляции и, как следствие, в целом повышается эффективность очистки сточной воды.

На втором этапе исследований проводили совместную обработку воды озоном и коагулянтом. Результаты испытаний флокулирующего действия озона в присутствии коагулянтов (рис. 2) показали уменьшение концентрации взвешенных веществ в 3,5 раза (Каустамин-15) и 4 раза (ВПК-402) при дозе озона

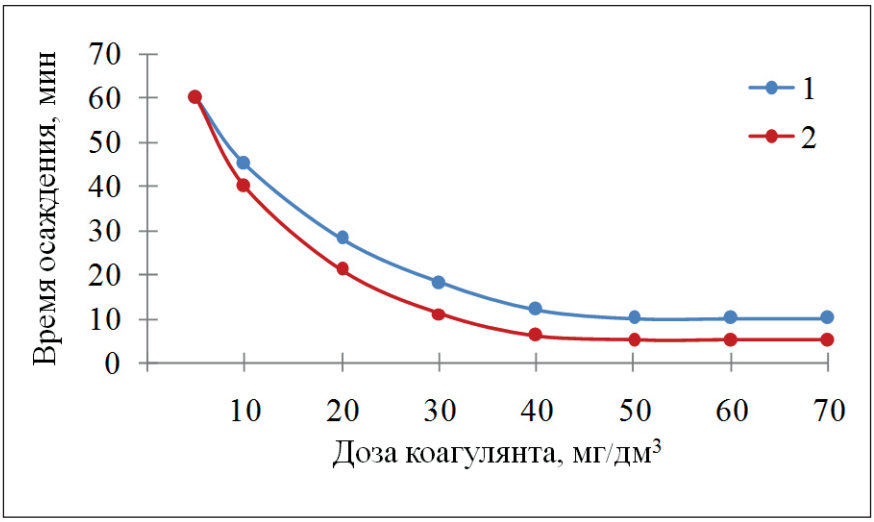

Рис. 1. **Зависимость времени осаждения хлопьев от дозы коагулянтов**:
1 – Каустамин-15; 2 – ВПК-402

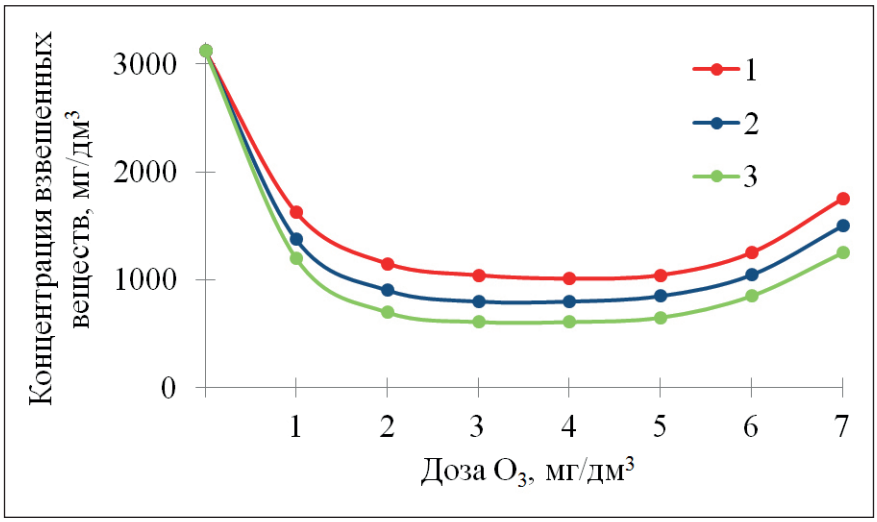

Рис. 2. **Влияние дозы озона на концентрацию взвешенных веществ в сточной воде:** 1 – без коагулянта; 2 – в присутствии коагулянта Каустамин-15; 3 – в присутствии коагулянта ВПК-402

2–5 мг/дм³, что подтверждает эффект флокуляции. В отсутствии коагулянта под действием озона в той же дозе концентрация взвешенных веществ уменьшается в 3 раза. Озон как флокулянт нарушает динамическое равновесие, в котором находятся примеси в воде, позволяет перевести растворенные вещества в коллоидную форму, способствует расслоению эмульсий, находившихся в стабильном состоянии под действием поверхностно-активных веществ, и выпадению примесей в осадок. При увеличении дозы озона выше 5 мг/дм³ концентрация взвешенных веществ начинает возрастать. Вероятно, это связано с разложением крупных макромолекул загрязнений.

В последующих сериях опытов было исследовано влияние дозы озона на содержание фенола и значение ХПК сточной воды (рис. 3, 4). С увеличением дозы озона от 1 до 7 мг/дм³ содержание фенола неравномерно уменьшается. Предположительно, это связано с адсорбцией растворенных веществ, в том числе фенола, на осаждающихся хлопьях. При дозе

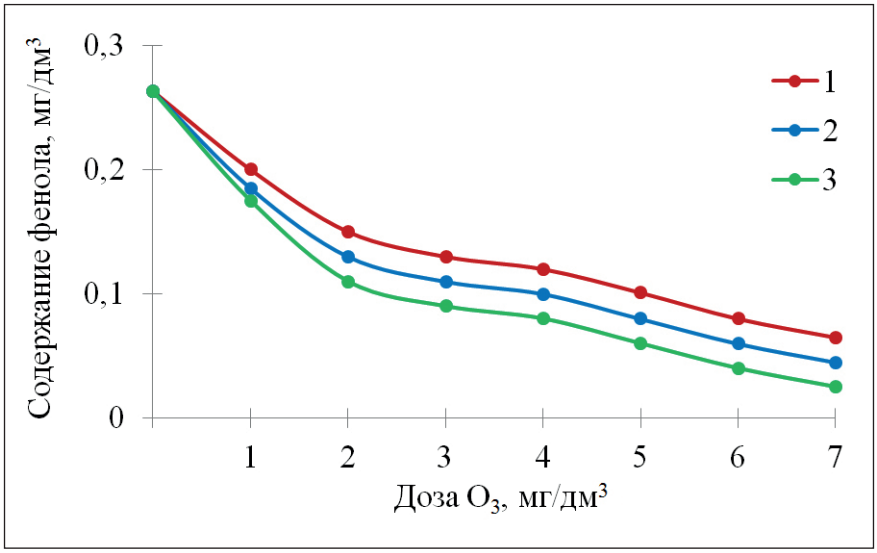

Рис. 3. **Влияние дозы озона на содержание фенола в сточной воде:** 1 – без коагулянта; 2 – в присутствии коагулянта ВПК-402; 3 – в присутствии коагулянта Каустамин-15

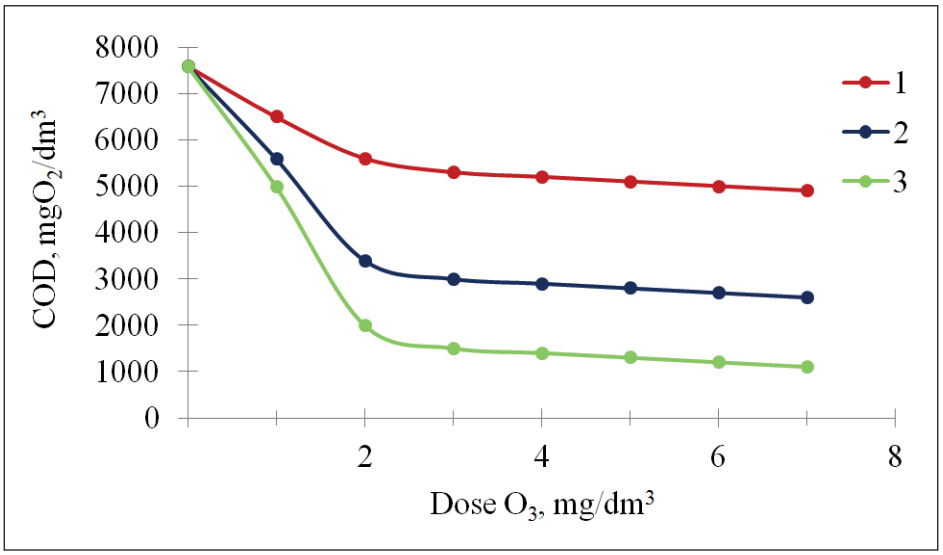

Рис. 4. **Влияние дозы озона на изменение значения ХПК сточной воды:**
1 – без коагулянта; 2 – в присутствии коагулянта ВПК-402;
3 – в присутствии коагулянта Каустамин-15

Таблица
Результаты исследования влияния природы коагулянта и флокулирующего действия озона на степень очистки

№ пробы	Флокулянт	Коагулянт	ХПК, мгO_2/дм^3	Фенолы, 10^{-1}×мг/дм^3	Взвешенные вещества, мг/дм^3
1	–	Каустамин-15	4400±660	2,50±0,38	1090±59
2	O_3	Каустамин-15	3400±510	1,40±0,21	893±48
3	–	ВПК-402	2600±390	2,00±0,30	1000±54
4	O_3	ВПК-402	2000±314	0,90±0,14	782±42
5	O_3	–	5690±894	1,50±0,23	1042±56

озона выше 5 мг/дм^3 наблюдается более резкое снижение содержания фенола ввиду увеличения адсорбционной поверхности раздела фаз. Кроме того, вероятно, начинается процесс окисления загрязняющих веществ под действием озона.

Из полученных результатов (рис. 4) видно, что резкое снижение значения ХПК наблюдается при дозе озона 1–2 мг/дм^3, а затем происходит постепенное уменьшение показателя.

Результаты сравнительного анализа влияния природы коагулянта и флокулирующего действия озона на степень очистки сточных вод приведены в табл.

Лучшие результаты получены при сочетании озона и ВПК-402, так как происходит наиболее эффективная очистка сточной воды: ХПК от 7600 до 2000 мг O_2/дм^3, содержание фенола от 0,263 до 0,090 мг/дм^3, взвешенных веществ от 3127 до 782,0 мг/дм^3. Вероятно, в данном случае происходит синергизм флокулирующего действия озона и ВПК-402.

Таким образом, флокулирующее действие озона наиболее эффективно в присутствии коагулянтов ВПК-402 и Каустамин-15. Результаты проведенных экспериментов по предозонированию сточных вод показали высокую эффективность данного метода, позволяющего снизить ХПК в 3,8 (ВПК-402) и 2,3 раза (Каустамин-15), содержание фенола в 2,9 (ВПК-402) и 1,9 раз (Каустамин-15), содержание взвешенных веществ в 4,0 (ВПК-402) и 3,5 раз (Каустамин-15).

ВЫВОДЫ

Полученные результаты позволяют уверенно утверждать, что для повышения эффективности очистки сточных вод фанерно-плитного комбината необходимо после механической очистки на начальном этапе провести совместную коагуляцию-флокуляцию с помощью озона и коагулянта ВПК-402 в небольших дозах (2 –5 и 40 мг/дм^3 соответственно) в течение 5 минут. Исследованный способ очистки позволяет снизить расходы на флокулянты, предупредить вторичное загрязнение воды, повысить эффективность дальнейшей окислительной очистки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аминова А.Ф., Сухарева И.А., Мартяшева В.А., Батурина К.В. Исследование влияния коагулянтов на очистку сточных вод уфимского фанерно-плитного комбината // Нефтегазовое дело. – Уфа: УГНТУ, 2015. – Т. 13, № 3. – С. 18–21.

2. Ягафарова Г.Г., Аминова А.Ф., Сухарева И.А., Хангильдина А.Р., Хангильдин Р.И. Разработка метода очистки сточных вод от трудноокисляемых органических соединений // Вода: химия и экология. – М.: ООО «ИД «Вода: химия и экология», 2016. – № 1. – С. 24–29.

3. Mazitova A.K., Aminova A.F., Sukhareva I.A. Purification of wastewater of some construction materials production // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering: international Conference on Construction, Architecture and Technosphere Safety, 25-27nd of September 2019. – 2019. – Vol. 687: ICCATS-2019.–066073.

4. Жуков А.И. Методы очистки производственных сточных вод / А.И. Жуков, И.Д. Монгайт, И.Д. Родзиллер. – М.: Стройиздат, 1977. – 204 с.

5. Яковлев С.В. Очистка производственных сточных вод / С.В. Песков, Я.А. Карелин, Ю.М. Ласков, Ю.В. Воронов. – М.: Стройиздат, 1985. – 335 с.

6. Рубинская А.В. Эффективность очистки оборотной воды при производстве ДВП / А.В. Рубинская, Н.Г. Чистова, Ю.Д. Алашкевич // Химическая технология переработки растительного сырья. – 2008. – № 3. – С. 354–358.

7. Чистова Н.Г. Проблемы очистки сточных вод в производстве древесноволокнистых плит мокрым способом / Н.Г. Чистова, Ю.Д. Алашкевич, А.В. Рубинская // Экология и безопасность жизнедеятельности: сб. материалов IV межд. науч.- практ. конф., 2004. – Пенза: РИО ПГСХА.– 2004. – С. 145–146.

8. Мешалкин А.В., Дмитриева Т.В., Стрижко Л.С. Экохимический практикум: учеб. пособие. – М.: Сайнс-Пресс. – 2002. – 240 с.

9. Кузубова Л.И., Кобрина В.Н. Химические методы подготовки воды (хлорирование, озонирование, фторирование): Аналит. обзор / СО РАН, ГННТБ, НИОХ. – Новосибирск, 1996. – Сер. «Экология», вып. 42. – 132 с.

10. Мазитова А.К., Сухарева И.А., Аминова Г.К., Насырова Г.М., Удалова Е.А., Сергеев В.А. Исследование возможностей использования озона в качестве флокулянта // Башкирский химический журнал. – 2019. – Т. 26, № 4. – С. 25–28.

11. Цхе А.А., Хан В.А., Мышкин В.Ф., Колесников В.П., Вильсон Е.В., Почуев Ю.Н., Луканин А.А. Предозонирование – как средство интенсификации процессов биологической очистки сточных вод // Научный журнал КубГАУ. – 2013. – № 87(03). – С. 276–301.

12. Аминова А.Ф., Сухарева И.А., Буйлова Е.А., Недопёкин Д.В., Файзуллина С.Р. Очистка сточных вод деревообрабатывающей промышленности с применением озона // Проблемы водо-, энергоснабжения и экологии в современном строительстве: материалы междунар. научно-техн. конференции. – Баку: ААСУ, 2018. – С. 166–170.

13. Житенёв Б.Н., Таратенкова М.А. Обесцвечивание поверхностных вод коагулированием с предварительным озонированием для производственного водоснабжения // Вестник Брестского государственного технического университета. – 2016. – № 2.– С. 67–70.

14. Ameta R. Advanced Oxidation Processes for Wastewater Treatment: Emerging Green Chemical Technology / R. Ameta //Academic Press. – 2018. – P. 428.

15. Himadri R.G. Advanced Oxidation Processes for the Treatment of Biorecalcitrant Organics in Wastewater / Roy Ghatak Himadri // Critical reviews in environmental science and technology. – 2014. – Vol. 44. – P. 1167–1219.

16. Buyukada M. Modeling of decolorization of synthetic reactive dyestuff solutions with response surface methodology by a rapid and efficient process of ultrasound – assisted ozone oxidation / Musa Buyukada // Desalination and water treatment. – 2016. – Vol. 57. – Pp. 14973–14985.

17. Hrishikesh V.K. Intensification of catalytic wet air oxidation for industrial effluent treatment using ozone and ultrasound as pretreatment / V. Khare Hrishikesh, R. Gogate Parag // Desalination and water treatment. – 2017. – Vol. 58. – Pp. 63–71.

18. Barry L.L. Forty Years of Advances in Ozone Technology. A Review of Ozone: Science & Engineering / L. Loeb Barry // Ozone: Science & Engineering. – 2018. – Vol. 40. – Pp. 3–20.

19. Кофман В.Я. Новые окислительные технологии очистки воды и сточных вод. Часть 1 // Водоснабжение и санитарная техника. – 2013. – № 10. – С. 68–78.

20. Асфандиярова Л.Р., Годжаева А.Р. Синтез водорастворимого катионного полиэлектролита на основе эпихлоргидрина и диметиламина // Мир нефтепродуктов. Вестник нефтяных компаний. – 2013. – № 12. – С.15–16.

21. Топчиев Д.А., Малкандуев Ю.А. Катионные полиэлектролиты. Получение, свойства и применение. – М.: ИКЦ «Академкнига». – 2004. – 232 с.

22. Даминев Р.Р., Фаткуллин Р.Н., Асфандияров Р.Н., Асфандиярова Л.Р., Юнусова Г.В. Особенности получения бессолевого N,N-диметил-N,Nдиаллиламмонийхлорида и полимера на его основе// Бутлеровские сообщения. – 2015. – Т. 43. – С. 112–116.

23. Мазитова А.К., Сухарева И.А., Аминова А. Ф., Ягафарова Г.Г., Савичева Ю.Н. Озонирование сточных вод предприятий деревообрабатывающей промышленности с применением гетерогенного катализатора с наносвойствами // Нанотехнологии в строительстве. – 2019. – № 4.– С. 394–404. – DOI: 10.15828/2075-8545-2019-11-4-394-404.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Мазитова Алия Карамовна, доктор химических наук, профессор, зав. кафедрой «Прикладные и естественно-научные дисциплины», ФГБОУ ВО «Уфимский государственный нефтяной технический университет», г. Уфа, Республика Башкортостан, Россия, ORCID: https://orcid.org/0000-0003-3853-4617, e-mail: elenaasf@yandex.ru

Сухарева Ирина Александровна, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры «Прикладные и естественно-научные дисциплины», ФГБОУ ВО «Уфимский государственный нефтяной технический университет», г. Уфа, Республика Башкортостан, Россия, ORCID: https://orcid.org/0000-0001-9669-7460, e-mail: suxareva-ira@yandex.ru

Сидоров Георгий Маркелович, доктор технических наук,профессор кафедры «Технология нефти и газа», ФГБОУ ВО «Уфимский государственный нефтяной технический университет», г. Уфа, Республика Башкортостан, Россия, e-mail: kaskad@ufanet.ru

Абдрахманова Лилия Карамовна, кандидат технических наук, доцент кафедры «Механика и конструирование машин», ФГБОУ ВО «Уфимский государственный нефтяной технический университет», г. Уфа, Республика Башкортостан, Россия, e-mail: liliya.abdrakhmanova.1955@gmail.com

Кузнецова Елена Викторовна, кандидат технических наук, доцент кафедры «Экономика и управление на предприятии нефтяной и газовой промышленности», ФГБОУ ВО «Уфимский государственный нефтяной технический университет», г. Уфа, Республика Башкортостан, Россия, e-mail: nsp-rb@mail.ru

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Статья поступила в редакцию: 06.07.2020.
Статья поступила в редакцию после рецензирования: 30.07.2020.
Статья принята к публикации: 05.08.2020.