

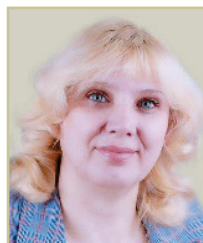
DOI: 10.25558/VOSTNII.2023.22.56.011

УДК 628.33

© Л.А. Николаева, Р.Я. Исхакова, А.В. Травникова, А.И. Нурғалиев, 2023

Л.А. НИКОЛАЕВА

д-р техн. наук, профессор,
заведующая кафедрой
КГЭУ, г. Казань
e-mail: lartisanik16@mail.ru



Р.Я. ИСХАКОВА

канд. техн. наук,
доцент кафедры
КГЭУ, г. Казань
e-mail: imreginaiskh@gmail.com



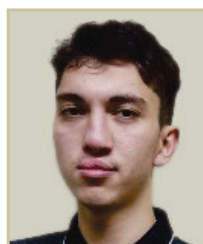
А.В. ТРАВНИКОВА

студент
КГЭУ, г. Казань
e-mail: alex.travnikova@mail.ru



А.И. НУРГАЛИЕВ

студент
КГЭУ, г. Казань
e-mail: artur_nurgaliev022@mail.ru



ОЧИСТКА СТОЧНЫХ ВОД ОТ АНИОННЫХ СИНТЕТИЧЕСКИХ ПОВЕРХНОСТНО-АКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ОТХОДА ЭНЕРГЕТИКИ В КАЧЕСТВЕ ВТОРИЧНОГО МАТЕРИАЛЬНОГО РЕСУРСА

Рассмотрена проблема загрязнения сточных вод анионными синтетическими поверхностно-активными веществами на промышленных предприятиях, которая наносит значительный вред окружающей природной среде. Предложен новый метод адсорбционной очистки сточных вод промышленных предприятий с использованием карбонатного шлама тепловых электрических станций в качестве вторичного материального ресурса. Установлено, что гранулы карбонатного шлама со связующим могут рассматриваться как адсорбционный матери-

ал и их использование позволяет проводить эффективную очистку сточных вод от анионных синтетических поверхностно-активных веществ.

Ключевые слова: ОЧИСТКА СТОЧНЫХ ВОД, СОРБЦИОННЫЙ МАТЕРИАЛ, ИЗВЛЕЧЕНИЕ АНИОННО-СИНТЕТИЧЕСКИХ ПОВЕРХНОСТНО-АКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ, ВТОРИЧНЫЙ МАТЕРИАЛЬНЫЙ РЕСУРС, КАРБОНАТНЫЙ ШЛАМ ТЭС, УТИЛИЗАЦИЯ.

Синтетические поверхностно-активные вещества представляют собой группу веществ, которые снижают поверхностное натяжение воды. Наиболее широко из данной группы соединений распространены анионные синтетические поверхностно-активные вещества (СПАВ), которые попадают в поверхностные водоемы с хозяйственно-бытовыми и промышленными сточными водами. Анионные СПАВ являются основным компонентом моющих средств бытовой химии. В промышленные сточные воды СПАВ поступают при выделении конечного продукта в химических технологиях, в процессах бурения газовых и нефтяных скважин, при флотационном обогащении руд и пр. СПАВ используются с целью увлажнения транспортируемых пылящих материалов и полимеров, а также мест массового хранения горной массы и хвостохранилищ с целью пылеподавления; для изменения физических и химических свойств растворов при обработке культур с целью обеспечения эффективного действия пестицидов и т. д.

Таким образом, СПАВ применяются практически во всех областях народного хозяйства, что и обуславливает их значительное попадание в природные водоемы со сточными водами.

Несмотря на то, что основные представители анионных СПАВ (например, лаурил сульфат натрия) относятся к IV классу опасности, т. е. являются малоопасными веществами, данные соединения наносят значительный вред состоянию поверхностных водоемов. Окисление поверхностно-активных веществ сопровождается повышенным потреблением растворенного кислорода, что приводит к недостаточному разложению прочих примесей. Анионные СПАВ вызывают значительное пенообразование, что нарушает воздухообмен в водоеме, а также органолептические свойства

воды. Присутствие СПАВ в водоеме влияет на химический состав воды и протекание естественных биохимических процессов, приводит к изменению биоценоза водной среды, а именно: к интенсивному росту водорослей и дальнейшему их гниению, гибели гидробионтов, жаберному кровотечению у рыб, нарушению химических процессов в клеточных мембранах у теплокровных животных.

Помимо этого, присутствие СПАВ препятствует использованию водных объектов для рекреационных нужд в связи с снижением эстетической ценности водоема.

Наличие АСПАВ создает дополнительные трудности при разделении и очистке различных дисперсных загрязнений, находящихся в жидком и твердом агрегатных состояниях, т. к. при их взаимодействии с поверхностно-активными веществами происходит эмульгирование и стабилизация указанных загрязнений. Установлено негативное воздействие СПАВ на состояние активного ила, который является основным компонентом на биологических очистных станциях. Наличие анионных СПАВ может приводить к нарушению нормальной жизнедеятельности активного ила и изменению процесса агломерации его частиц.

Таким образом, наличие СПАВ в природных водах может привести к серьезным нарушениям естественного самоочищения водоема, поэтому эффективное их извлечение из сточных вод является обязательным этапом очистки.

В настоящее время вопросами очистки сточных вод от СПАВ активно занимаются как отечественные, так и зарубежные научные школы. Для этих целей применяются различные физико-химические методы очистки. Например, в работе [1] предлагается использовать комбинированный процесс химической коагуляции-флокуляции / ультрафиолетово-

го фотолиза для разделения и окислительно-го разложения линейного алкилбензолсульфоната (АСПАВ) в сточных водах прачечных с целью их извлечения до нормативных значений. В качестве коагулянта – сорбента, комплексообразователя и катионного высокомолекулярного флокулянта выбраны минеральная зола, $ZnCl_2$ и Праестол-650 соответственно. Результаты показали, что максимальная эффективность удаления анионных СПАВ составила 75 %. Для извлечения анионных поверхностно-активных также используется процесс электрохимической очистки с предварительной обработкой промышленных сточных вод косметической промышленности флокулянтами с известью и сульфатом алюминия (квасцы) [2].

Адсорбция также является перспективным методом, используемым для удаления различных представителей анионных СПАВ из сточных вод [3]. Очистка воды, загрязненной СПАВ, с помощью адсорбции обеспечивает лучшую эффективность по сравнению с другими методами. Отечественными и зарубежными учеными разработано множество материалов для адсорбции поверхностно-активных веществ. Активированный уголь является наиболее подходящим адсорбентом для удаления поверхностно-активных веществ, но его получение является дорогостоящим процессом, присутствуют сложности его регенерации. Поэтому в качестве альтернативных материалов были разработаны различные новые адсорбенты, такие как цеолиты, наноматериалы, смолы, биоматериалы и глины [3–5].

В работе [6] было установлено, что оксид алюминия является эффективным адсорбентом для извлечения додецилсульфата натрия и может быть использован для удаления анионных СПАВ из сточных вод в случае, если они присутствуют в высокой концентрации при оптимальной дозе адсорбента 120 г/л. При этом время установления равновесия составляет 1 ч., а эффективность очистки — 94 %. Помимо этого, в качестве адсорбционных материалов могут использоваться и отходы производства. В работе [7] в качестве

сорбционного материала АСПАВ был использован дефекат, образующийся при производстве сахара на стадии очистки свекловичного сока. В состав дефеката входит до 75 % $CaCO_3$, около 20 % органических примесей, остальное — инертные вещества. В статье [8] проведено исследование переработки косточек маслин и скорлупы грецких орехов в углеродные сорбенты. На основании результатов термогравиметрических исследований и элементного состава сырья выбрана оптимальная технология переработки и технологические параметры процесса карбонизации.

Таким образом, применение адсорбционной технологии очистки сточных вод от анионных СПАВ и разработка адсорбционных материалов на основе отходов производства и потребления является актуальной областью исследования. При этом также решается задача утилизации отходов и снижение их негативного воздействия на окружающую природную среду. При использовании отходов в качестве сырья для разработки адсорбционных материалов их следует рассматривать как вторичные материальные ресурсы.

Отходы производства, характерные для энергетической отрасли, представляют собой продукты сгорания органического топлива, например: шлак, зола, золосажевые отложения и т. д. Помимо этого на тепловых электрических станциях (ТЭС) в процессе подготовки добавочной воды образуется крупнотоннажный отход — шлам водоподготовки. Данный отход образуется в аппаратах — осветлительных фильтрах, которые предназначены для извлечения взвешенных примесей из природных вод. После проведения коагуляции и известкования отход отводится из осветлительного фильтра в виде пульпы и направляется на шламонакопители.

Для экспериментальных исследований использовали шлам водоподготовки, образующийся на Казанской ТЭЦ-1. Перед использованием определен химический состав отхода. На автоматическом порошковом дифрактометре D 8 ADVANCE Bruker проведен рентгенографический качественный фазовый анализ, по результатам которого установлен

следующий химический состав исследуемого материала: кальцит CaCO_3 — 72 %, брусит $\text{Mg}(\text{OH})_2$ — 9 %; портландит $\text{Ca}(\text{OH})_2$ < 1 %; кварц SiO_2 — 0,5 %, остальные прочие вещества — 17,5 % [9]. Химический состав свидетельствует о возможности использования шлама водоподготовки в качестве вторичного материального ресурса. При этом будет решена экологическая задача, связанная с вопросом утилизации многотоннажного отхода энергетики.

Целью работы является исследование возможности очистки сточных вод от анионных синтетических поверхностно-активных веществ с применением обработанного шлама водоподготовки в качестве нового сорбционного материала.

Для использования шлама водоподготовки в качестве сорбционного материала необходимо проводить предварительное гранулирование, направленное на уплотнение порошкообразного материала с применением связующего вещества. В этом случае повышаются прочностные свойства отхода водоподготовки, облегчаются процессы его транспортировки и хранения, а также снижается гидравлическое сопротивление, возникающее в адсорбционной колонне, и повышается эффективность процесса очистки от загрязняющих примесей. В качестве связующих веществ в работе использованы: парафин (СМ1), жидкое натриевое стекло (СМ2), крахмал (СМ3) и синтетический полимер —

поливиниловый спирт (СМ4).

Связующие применялись в различных соотношениях, установленных экспериментально. Шлам смешивался с парафином, жидким натриевым стеклом и крахмалом в массовом соотношении 2:1, в то время как поливиниловый спирт был введен в шлам в соотношении 1:1.

В результате методом окатывания получили однородные гранулы, представленные на рис. 1, диаметром 3–5 мм. Далее сорбционные материалы СМ1, СМ2 и СМ4 в течение 60 мин подвергались конвективной сушке при температуре 150–250 °С. Для гранул СМ-4 сушка не целесообразна, так как при нагревании парафин растекался и гранулы деформировались.

В статических условиях определяли сорбционную емкость полученных гранул по отношению к анионным СПАВ методом переменных навесок. Эксперимент проводили с использованием модельных растворов, приготовленных из лаурила сульфата натрия, разведенного в дистиллированной воде до известной концентрации, при их постоянном перемешивании. Лаурил сульфат натрия является типичным представителем амфифильных веществ, содержащих в своем строении как гидрофильный, так и гидрофобный компоненты. Концентрацию лаурила сульфата натрия определяли экстракционно-фотометрическим методом с метиленовым синим [10] на фотокolorиметре КФК-3.

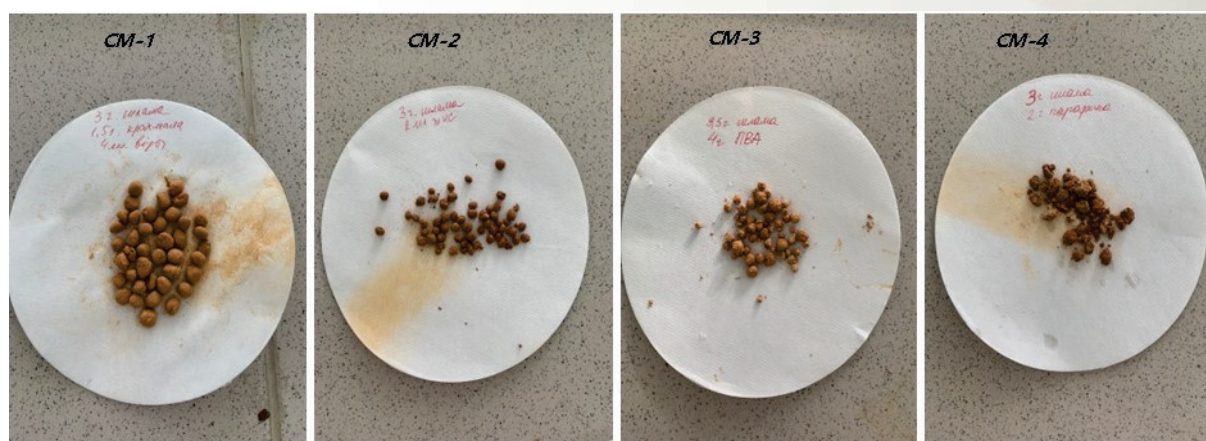


Рис. 1. Разработанные сорбционные материалы на основе шлама водоподготовки

Для определения сорбционной емкости гранул шлама водоподготовки по отношению к анионным СПАВ использовали формулу (1):

$$A = \frac{(C_{исх} - C_p)}{m} \cdot V, \quad (1)$$

где A — сорбционная емкость гранул, мг/г; V — объем пробы модельного раствора, л; $C_{исх}$ и $C_{конеч}$ — исходная и равновесная концентрации анионного СПАВ в модельном растворе, мг/л; m — масса гранул материала, г.

Далее определяли насыпную плотность разработанных гранулированных сорбционных материалов по методике [11], которая рассчитывалась по формуле (2):

$$B = \frac{m}{V}, \quad (2)$$

где B — насыпная плотность сорбционного материала, г/см³; m — масса сорбционного материала, г; V — объем сорбционного материала, см³.

Насыпная плотность учитывает не только объем частиц материала, но и пространство между ними и используется как основная характеристика при транспортировке и эксплуатации сорбционного фильтра.

Результаты экспериментальных исследований по определению сорбционной емкости и насыпной плотности разработанных гранулированных материалов представлены в табл. 1.

Таблица 1

Результаты экспериментальных исследований

Показатель	СМ1	СМ2	СМ3	СМ4
Сорбционная емкость, мг/г	10,82	11,2	10,3	10,35
Насыпная плотность, г/см ³	0,64	0,73	0,51	0,46

Из табл. 1 видно, что наиболее высокой адсорбционной емкостью обладают гранулы шлама с жидким натриевым стеклом в качестве связующего СМ2 — 11,2 мг/г и с использованием парафина СМ1 — 10,79 мг/г. Данные сорбционные материалы со связующими выбраны как наиболее эффективные. Определен гранулометрический состав материалов СМ1 и СМ2 с применением ситового анализа, который основан на механическом рассеве исследуемых гранул по крупности частиц на стандартном наборе сит (табл. 2).

Как видно из табл. 2, диаметр основной части гранул разработанных материалов СМ1 и СМ2 (>90 %) находится в диапазоне 1,0–1,5 мм.

Шлам водоподготовки представляет собой гидрофильный материал. Однако обработка связующими материалами (парафином, жидким натриевым стеклом) позволяет повысить его гидрофобность. Применение парафина в качестве связующего материала позволяет получать сорбционные материа-

лы без необходимости их сушки, что существенно снижает энергетические затраты, связанные с их производством. Также наличие твердой подложки способствует снижению уровня пенообразования анионных СПАВ в сточных водах.

Таблица 2

Гранулометрический состав материалов СМ1 и СМ2

Диаметр частиц, мм	Выход, %	
	СМ1	СМ2
1,0-1,5	93,55	98,05
0,5-1,0	3,57	1,56
0,09-0,5	2,31	0,24
<0,09	0,57	0,15

На основании полученных данных дальнейшие исследования процесса адсорбции анионных СПАВ проводились на гранулированном материале СМ2 как наиболее эффек-

тивном. Получены данные по статической и динамической сорбции анионных СПАВ на выбранном материале.

В статических условиях определяли ад-

сорбционную емкость СМ2 по формуле (1) при 20 °С. По результатам лабораторного исследования получены изотермы сорбции в статическом режиме (рис. 2).

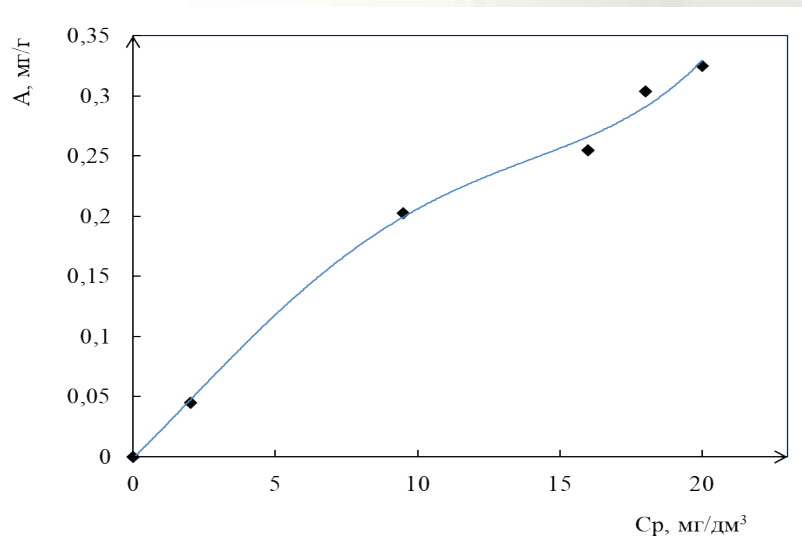


Рис. 2. Изотерма сорбции анионных СПАВ на СМ2 в статических условиях (А — адсорбционная емкость, мг/г; Ср — равновесная концентрация анионных СПАВ в растворе, мг/дм³)

Начальный участок кривой находится в области действия закона Генри и представляет собой линейную зависимость, т. к. поверхностное натяжение линейно уменьшается с увеличением концентрации ПАВ. Принимая во внимание значительную поверхностную активность ПАВ, далее процесс адсорбции соответствует теории Ленгмюра. Это подтверждает то, что кривая выходит на равновесие и соответствует теории об образовании мономолекулярного слоя на поверхности гранул сорбционного материала. Затем в соответствии с теорией полимолекулярной адсорбции образуется второй и последующие слои, т. к. продолжается связывание извлекаемого компонента адсорбционным материалом.

Полученная изотерма соответствует IV типу по классификации БЭТ на пористом адсорбенте и характеризуется высокой энергией взаимодействия между адсорбентом и адсорбатом. Происходит формирование полимолекулярного слоя с ассоциацией молекул анионных СПАВ, при этом молекулы ПАВ адсорбируются на границе раздела фаз. Для подобного типа адсорбции характерно значительное снижение свободной

энергии на границе раздела фаз и поверхностного натяжения.

В работе определяли динамическую сорбционную емкость, которая соответствует полной емкости сорбционного материала, определенной в динамических условиях. Динамическая сорбционная емкость отражает сорбционный процесс в реальных условиях и показывает количество поглощенных ионов до момента их проскока в раствор, выходящий из хроматографической колонки. Динамическая сорбционная емкость определялась при пропускании стандартного модельного раствора через сорбционный материал СМ2 (масса навески 7 г), загруженный в хроматографическую колонку высотой 25–30 мм с внутренним диаметром 15 мм. Скорость пропускания модельного раствора через хроматографическую колонку, заполненную сорбционным материалом, была постоянной и составляла 100 мл/ч. Пропущенный раствор собирали в мерные цилиндры по 10 мл отдельными порциями. В каждой порции очищенного раствора определяли концентрацию анионных СПАВ экстракционно-фотоколориметрическим методом на КФК-3.

На рис. 3 представлена кривая сорбции анионных СПАВ в динамическом режиме на гранулах СМ2. В процессе исследований пропускали раствор с начальной концентрацией 50 мг/дм^3 . За все время проведения исследования в динамическом режиме был пропущен 91 см^3 раствора анионных СПАВ, при этом лабораторный эксперимент проводили

до проскока анионных СПАВ с концентрацией $0,5 \text{ мг/дм}^3$. «Проскоковое значение» было выбрано исходя из значения предельно-допустимой концентрации анионных СПАВ в водоемах рыбо-хозяйственного значения. Динамическая сорбционная емкость до проскока СПАВ составила $1,029 \text{ мг/г}$.

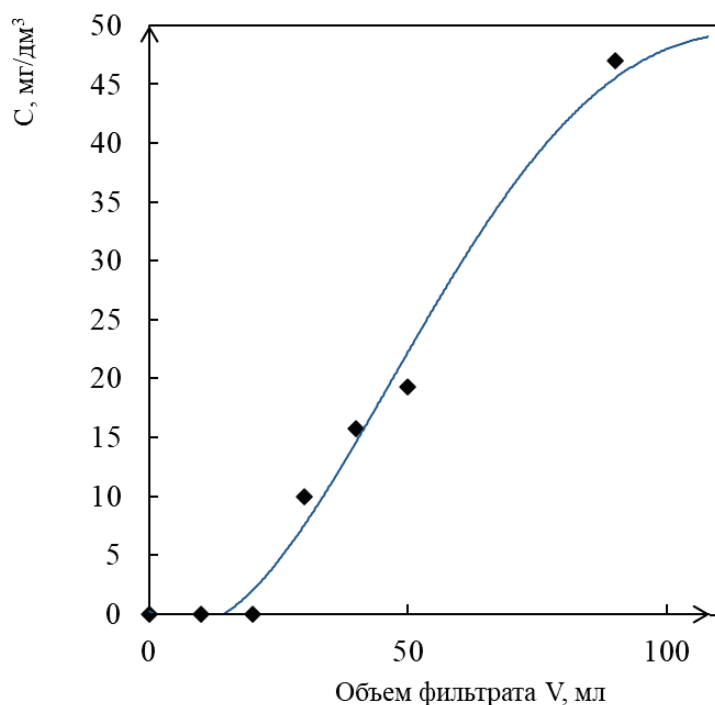


Рис. 3. Кривая адсорбции анионных СПАВ на СМ2 в динамических условиях

Таким образом, разработанный сорбционный материал СМ2, на основе шлама водоподготовки ТЭС и жидкого натриевого стекла в качестве связующего может быть использован в процессе очистки сточных вод промышленных предприятий от анионных синтетических поверхностно-активных веществ. Извлечение анионных СПАВ на сорбционном фильтре, загруженном предлагаемым материалом, перед этапом биологической очистки сточных вод промышленных предприятий обеспечит снижение нагрузки на биоценоз активного ила, минимизирует его деградацию и позволит повысить эффективность биохимических про-

цессов в аэротенках.

Предлагаемый метод позволит снизить антропогенную нагрузку на окружающую природную среду, т. к. при этом решается двойная экологическая задача: вторичное использование отхода ТЭС — карбонатного шлама, а также очистка сточных вод промышленных предприятий от анионно-синтетических поверхностно-активных веществ.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 18-79-10136. <https://rscf.ru/project/18-79-10136/>.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Terechova E.L., Guoquan Zhang, Jie Chen, Sosnina N.A. Fenglin Yang Combined chemical coagulation–flocculation/ultraviolet photolysis treatment for anionic surfactants in laundry wastewater // Journal of Environmental Chemical Engineering. 2014. Vol. 2. Is. 4. P. 2111–2119.

2. Fathi Aloui, Sonia Kchaou, Sami Sayadi Physicochemical treatments of anionic surfactants wastewater: Effect on aerobic biodegradability // Journal of Hazardous Materials. 2009. Vol. 164. Is. 1. P. 353–359.
3. Ahmer Ali Siyal, Muhammad Rashid Shamsuddin, Aaron Low, Nurul Ekmi Rabat A review on recent developments in the adsorption of surfactants from wastewater // Journal of Environmental Management. 2020. Vol. 254. P. 109797.
4. Лурье Ю.Ю. Аналитическая химия промышленных сточных вод. М., 2017. 171 с.
5. Ягодовский В.Д. Адсорбция. М.: Лаборатория знаний. 2015. 216 с.
6. Asok Adak, Manas Bandyopadhyay, Anjali Pal Removal of anionic surfactant from wastewater by alumina: a case study // Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects. 2005. Vol. 254. Is. 1–3. P. 165–171.
7. Сапронова Ж.А., Фетисов Р.О., Шайхиев И.Г., Свергузова С.В. Сорбционное извлечение лаурилсульфата натрия из водных сред с помощью отхода сахарной промышленности // Вестник КГТУ. 2014. Т. 17. № 3. С. 163–165.
8. Передерий М., Носкова Ю. Получение углеродных сорбентов из некоторых видов биомассы // Химия твердого топлива. 2008. № 4. С. 30–36.
9. Николаева Л.А., Хамзина Д.А. Замазученный шлам химводоочистки — вторичный энергетический ресурс на объектах малой энергетики // Известия ВУЗов. Проблемы энергетики. 2016. № 5–6. С. 50–54.
10. ПНД Ф 14.1:2.258-10. Методика выполнения измерений массовой концентрации анионных поверхностно-активных веществ в природных и сточных водах фотометрическим методом с метиленовым синим (микроэкстракция). М.: Аналитический центр ЗАО РОСА, 2010. 18 с.
11. ГОСТ 8269.0-97. Щебень и гравий из плотных горных пород и отходов промышленного производства для строительных работ. Методы физико-механических испытаний. М.: Стандартинформ, 2018. 51 с.

DOI: 10.25558/VOSTNII.2023.22.56.011

UDC 628.33

© L.A. Nikolaeva, R.Ya. Iskhakova, A.V. Travnikova, A.I. Nurgaliev, 2023

L.A. NIKOLAEVA

Doctor Engineering Sciences, Professor,
Head of the Department
KSPEU, Kazan
e-mail: larisanik16@mail.ru

R.Ya. ISKHAKOVA

Candidate Engineering Sciences,
Associate Professor of the Department
KSPEU, Kazan
e-mail: imreginaiskh@gmail.com

A.V. TRAVNIKOVA

Student
KSPEU, Kazan
e-mail: alex.travnikova@mail.ru

A.I. NURGALIEV

Student

KSPEU, Kazan

e-mail: artur_nurgaliev022@mail.ru

WASTE WATER TREATMENT FROM ANIONIC SYNTHETIC SURFACTANTS USING ENERGY WASTE AS A SECONDARY MATERIAL RESOURCE

The problem of pollution of wastewater with anionic synthetic surfactants at industrial enterprises, which causes significant damage to the environment, is considered. A new method of adsorption treatment of industrial wastewater using carbonate sludge of thermal power plants as a secondary material resource is proposed. It has been found that granules of carbonate sludge with a binder can be considered as an adsorption material and their use allows efficient treatment of waste water from anionic synthetic surfactants.

Keywords: WASTE WATER TREATMENT, SORPTION MATERIAL, EXTRACTION OF ANIONIC SYNTHETIC SURFACTANTS, SECONDARY MATERIAL RESOURCE, CARBONATE SLUDGE TPP, DISPOSAL.

REFERENCES

1. Terechova E.L., Guoquan Zhang, Jie Chen, Sosnina N.A. Fenglin Yang Combined chemical coagulation–flocculation/ultraviolet photolysis treatment for anionic surfactants in laundry wastewater // Journal of Environmental Chemical Engineering. 2014. Vol. 2. Is. 4. P. 2111–2119.
2. Fathi Aloui, Sonia Kchaou, Sami Sayadi Physicochemical treatments of anionic surfactants wastewater: Effect on aerobic biodegradability // Journal of Hazardous Materials. 2009. Vol. 164. Is. 1. P. 353–359.
3. Ahmer Ali Siyal, Muhammad Rashid Shamsuddin, Aaron Low, Nurul Ekmi Rabat A review on recent developments in the adsorption of surfactants from wastewater // Journal of Environmental Management. 2020. Vol. 254. P. 109797.
4. Lurie Yu.Yu. Analytical chemistry of industrial wastewater. M., 2017. 171 p. [In Russ.].
5. Yagodovsky V.D. Adsorption. M.: Laboratory of Knowledge. 2015. 216 p. [In Russ.].
6. Asok Adak, Manas Bandyopadhyay, Anjali Pal Removal of anionic surfactant from wastewater by alumina: a case study // Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects. 2005. Vol. 254. Is. 1–3. P. 165–171.
7. Sapronova Zh.A., Fetisov R.O., Shaikhiev I.G., Sverguzova S.V. Sorption extraction of sodium lauryl sulfate from aqueous media using sugar industry waste // Bulletin of KSTU [Vestnik KGTU]. 2014. Vol. 17. No. 3. P. 163–165. [In Russ.].
8. Perederii M., Noskova Yu. Obtaining carbon sorbents from some types of biomass // Solid Fuel Chemistry [Himiya tverdogo topliva]. 2008. No. 4. P. 30–36. [In Russ.].
9. Nikolaeva L.A., Khamzina D.A. Smeared sludge of chemical water purification — a secondary energy resource at small power facilities // News of universities. Energy problems [News of universities. Energy issues]. 2016. No. 5–6. P. 50–54. [In Russ.].
10. Federal environmental regulations 14.1:2.258-10. Methodology for measuring the mass concentration of anionic surfactants in natural and wastewater by photometric method with methylene blue (microextraction). M.: Analytical Center of ROSA CJSC, 2010. 18 p. [In Russ.].
11. GOST 8269.0-97. Crushed stone and gravel from dense rocks and industrial waste for construction work. Methods of physical and mechanical tests. M.: Standartinform, 2018. 51 p. [In Russ.].