

городскую канализацию, требуются дополнительные стадии очистки, способствующие удалению труднодеградируемых соединений.

ЛИТЕРАТУРА

1 Кузнецов, И. Н. Комплексная микробиологическая переработка послеспиртовой барды с получением белоксодержащего кормового продукта / И. Н. Кузнецов, Н. С. Ручай // Современные проблемы науки и образования. – 2013. – № 3. – С. 157–164.

2 Маркевич, Р. М. Экологическая биотехнология. Лабораторный практикум: учеб.-метод. пособие / Р. М. Маркевич, И. А. Гребенчикова, М. В. Рымовская. – Минск : БГТУ, 2015. – 217 с.

3 Маркевич, Р. М. Методическое руководство по контролю процесса биологической очистки сточных вод: учеб.-метод. пособие для студентов специальности 1-57 01 03 «Биоэкология» / Р.М. Маркевич [и др.]. – Минск: БГТУ, 2009. – 161 с.

УДК 628.385

М. В. Рымовская, доц. (БГТУ, г. Минск);
Н. В. Чеченец, химик (ООО «Рубикон», г. Витебск)
rymovskaya_mv@belstu.by

АНАЛИЗ МЕТОДОВ ДООЧИСТКИ АНАЭРОБНО ОБРАБОТАННЫХ ЖИДКИХ ОТХОДОВ ПРОИЗВОДСТВА СПИРТА

За рубежом достигнут значительный прогресс в области разработки и практического применения анаэробных биореакторов второго поколения, которые обеспечивают очистку стоков в очень широком диапазоне концентраций загрязнений, с высокой скоростью и эффективностью. В Республике Беларусь анаэробные биореакторы с гранулированной биомассой только начинают использоваться, поэтому процедура пуска и контроль работы их к настоящему времени недостаточно изучены, как и состав жидкости, выходящей из анаэробных биореакторов, и ее доочистка.

В настоящее время на ОСП ГГЦ «Березинский спиртовой завод» РУП «Минск-Кристалл» производится вывод на стабильный режим работы анаэробного биореактора с гранулированным илом типа UASB для обработки жидкой фракции (фугата) крупнотоннажного отхода производства пищевого этанола – послеспиртовой барды; анаэробно обработанный фугат послеспиртовой барды и являлся объектом нашего исследования.

Целью исследования являлась изучение доочистки обработанных в анаэробном биореакторе жидких отходов производства спирта.

Традиционно для доочистки воды широко используются процессы адсорбции и ионного обмена, биологическая очистка с использованием закрепленных микроорганизмов, возможно использование малозагрязненных вод для полива сельскохозяйственных культур. Задачами исследования являлись изучение характеристик фугата послеспиртовой барды, сброженного в анаэробных биореакторах, эффективности доочистки анаэробно обработанного фугата послеспиртовой барды с использованием адсорбции, ионного обмена, коагуляции; изучение деструкции загрязнений окислением озоном, биологическим разрушением иммобилизованных на носителях клетками, окислением озоном с последующим биологическим разрушением, а также изучение прорастания и роста семян сельскохозяйственных культур при поливе сброженным фугатом.

Для решения первой задачи был отобран сброженный фугат из промышленного анаэробного биореактора в марте 2016 г на высоте 4 м. На этот момент непрерывная подпитка анаэробного биореактора фугатом послеспиртовой барды не проводилась в течение 3 месяцев, поэтому глубину его очистки можно считать наилучшей, а также запущен лабораторный анаэробный биореактор, подпитываемый фугатом послеспиртовой барды со скоростью менее $0,03 \text{ сут}^{-1}$.

Характеристики их приведены в таблице 1.

Для моделирования процессов доочистки воды использовали смесь 1:3 сброженных фугатов послеспиртовой барды из лабораторного (ХПК 820 мг О/дм^3) и промышленного (ХПК 1100 мг О/дм^3) биореакторов, ХПК такой смеси составляла в среднем 1000 мг О/дм^3 .

Таблица 1 – Характеристики фугата послеспиртовой барды, сброженного в анаэробных биореакторах

Фугата из анаэробного биореактора	рН	Щелочность по CaCO_3 , мг/дм^3	NH_4^+ , мг/дм^3	ХПК, мг О/дм^3
лабораторного	5,5–7,7	2700–4000	600–612	820–920
промышленного	6,9	3450	594	1100

Для решения второй задачи использовали для изучения адсорбции - активированный уголь марки АГ-5, ионного обмена – смесь катионита КУ-2–8 и анионита АВ-17–8 в соотношении 1:1 по массе, коагуляции – смесь отработанных измельченных ионитов тех же марок.

Результаты изучения процесса адсорбционной и ионообменной очистки сброженного фугата при размещении угля и ионитов в виде фиксированного слоя показали, что уровень загрязненности жидкости по ХПК остался практически тем же: при ХПК жидкости на входе в

колонки 950 мг/дм^3 ХПК жидкости в стоке из колонок составило 1020 мг/дм^3 и 890 мг/дм^3 соответственно. Небольшое уменьшение ХПК в случае использования ионитов указало нам на перспективность применения адсорбентов либо коагулянтов с ионообменными свойствами для очистки этой воды. Концентрация аммонийного азота не изменилась (600 мг/дм^3). В колонке с ионитом наблюдалось выделение газом. Плотная упаковка ионитов мешала выходу газов из объема колонки, поэтому оборудование такого типа в данном случае неприменимо.

Из результатов исследования обработки сброженного фугата отработанными измельченными ионитами при перемешивании в течение 30 мин и отстаиванием 10 мин видно, что с увеличением дозы ХПК жидкости через 1 час снижается, достигая приемлемого уровня 270 мг/дм^3 при дозе 80 мг/дм^3 . Мелкодисперсные частицы агрегатов, не удаляемые центрифугированием из объема жидкости, приводят к увеличению ХПК на 120 мг/дм^3 . Увеличение времени контакта отработанных ионитов со сброженным фугатом приводило к повышению ХПК, вероятно, из-за высвобождения ранее захваченных частиц загрязнений. Несмотря на заметное обесцвечивание обработанной жидкости оптическая плотность была большой ($0,320\text{--}0,345$). Внесение смеси ионитов с нормальной зернистостью и емкостью не приводило к заметному снижению ХПК.

Далее для подготовки воды к химическому анализу пробы фильтровали, использовали отработанные иониты в меньшей дозе ($0,5$ и $5,0 \text{ г/дм}^3$), однако также с неудовлетворительным результатом: заметного увеличения или уменьшения ХПК не происходит ($1060\text{--}1110 \text{ мг О/дм}^3$), а концентрация аммонийного азота даже становится больше – до 750 мг/дм^3 .

Изучение процесса окисления озоном с последующим биологическим разрушением иммобилизованных на носителях клетками показало, что с увеличением дозы озона до $500\text{--}1000 \text{ мг/дм}^3$ ХПК сброженного фугата увеличивается на $7\text{--}30\%$. Это явление может быть связано с деструкцией озоном химически окисляемых полимеров с высвобождением низкомолекулярных соединений. Снижение ХПК до значений, на $2\text{--}12\%$ ниже исходного при дальнейшем увеличении дозы озона от 1000 до 2000 мг/дм^3 скорее всего связано с доокислением этих образовавшихся мономеров до простых соединений. Повышение дозы озона вплоть до 12000 мг/дм^3 приводит к медленному увеличению ХПК, что может свидетельствовать о деструкции трудноокисляемых полимеров до более простых соединений. Такая обработка не может быть реализована из-за непомерных энергетических затрат на процесс.

Моделирование процесса аэробной биологической очистки в периодическом режиме в системах с активированным углем и волокнистым носителем как материалом для иммобилизации показало, что вклад адсорбции на поверхности носителя и биомассы значительный – 7–58% и 25–60% для неозонированного и озонированного сброженного фугата соответственно. В последующие 7 суток ХПК оставалось в среднем на том же уровне, поэтому о протекании биологического окисления загрязнений утверждать нельзя. рН в колбах на 5 сут эксперимента был щелочным – от 8,5 до 9,5 – из-за присутствия ионов аммония в системе, которые высвобождаются при утилизации микроорганизмами органических кислот. Повышение рН – сдерживающий фактор для активного метаболизма большинства микроорганизмов, поэтому далее снабжение микроорганизмов кислородом воздуха происходило путем продувки воздухом с использованием микрокомпрессора через объем жидкости для вытеснения свободного аммиака.

Продувка сброженного фугата воздухом привела к снижению концентрации ионов аммония за 2 сут на 64–68%, предварительное озонирование практически не влияет на удаление аммиака, однако снижает цветность воды.

Моделирование процесса биологической очистки в полунепрерывном режиме при скорости протока менее $0,5 \text{сут}^{-1}$ продемонстрировало, что ХПК жидкости из биореактора оставалось на уровне ХПК вносимого в систему сброженного фугата, а дальнейшего снижения концентрации аммонийного азота не происходило: она оставалась на уровне 150–220 мг/дм³. Вероятно, для стабильного функционирования такой системы требуется увеличить время пребывания, однако это будет слишком дорого.

Полив почвы с внесенными семенами репы, кресс-салата и льна-долгунца сброженным фугатом привел к увеличению времени прорастания семян на 2 сут (с 4 сут до 6 сут), снижению поэтому массы растений на 19–26 %, однако содержание сухих веществ на единицу массы растений выросло с 9–11 % до 14–15 %.

На основании проведенных исследований можно выделить особенности состава и очистки сброженного фугата: загрязнения представлены стабильными к биологическому окислению органическими соединениями, большая концентрация ионов аммония; загрязнения практически не удаляются ионным обменом и адсорбцией, обработка отработанными измельченными ионитами эффективна только при большой дозе; озонирование обесцвечивает сброженный фугат, однако практически не разрушает органические загрязнения и не повышает биодоступность их для микроорганизмов; продувка воздухом

приводит к удалению аммонийного азота на 60%; биологическая очистка закрепленными на носителях микроорганизмами даже при малой скорости потока и отдувке аммонийного азота неэффективна; полив сельскохозяйственных растений сброженным фугатом замедляет прорастание семян и увеличивает содержание сухих веществ в биомассе растений.

УДК 628.3 + 658.567.1

Василенко Т.А., доц., канд. техн. наук;
Ламакина М.П., магистрант; Колтун А.А., магистрант
(БГТУ им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Российская Федерация)

КОМПЛЕКСНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОТХОДОВ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОЙ И ПИЩЕВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

В научной литературе имеются публикации по использованию отходов производства (щелочные красные шламы, отходов апатит-нефелиновой флотации, отработанных травильных растворов и др.) в качестве реагентов при очистке производственных сточных вод [1–3]. Исследован способ очистки фильтрационных вод полигона твердых бытовых отходов г. Белгорода с использованием модифицированного техногенного сырья (шлак АО «ОМК-Сталь», г. Выкса). Железосиликатный флокулянт получали путем разложения железосиликатного сырья соляной кислотой. Данный электросталеплавильный шлак также был использован в качестве добавки в сырьевую массу в количестве от 1 до 10 % в производстве керамзита. Установлена оптимальная температура обжига, которая составляет 1170 °С с добавкой шлака 3 %, удовлетворяющая потребности строительной индустрии: марка по прочности П50; марка по насыпной плотности М 350, М 400. Образцы керамзита, полученные из данного электросталеплавильного шлака при температуре обжига 1170 °С с добавкой шлака от 3 до 6% относятся к средне вспучивающимся с коэффициентом вспучивания от 2,5 до 4,5 [4].

Минералогический состав высокоосновного сталеплавильного шлака представлен ортосиликатами с изолированными кремнекислородными тетраэдрами, к которым относятся: силикат кальция; ферро-магнийевый силикат – оливин; алюминатный диопсид; фаялит. После проведения обработки шлака соляной кислотой производят отделение фильтрацией полученного раствора от шихтофа. Твердый остаточный шлам, представляющий собой шихтоф, может быть использован для изготовления строительных материалов. При проведении эксперимента к шлаку приливали соляную кислоту с нормальностями: 0,5; 1,0; 1,5