

Процесс биокомпостирования реализуется на площадке для компостирования, которая предусматривает наличие следующих зон:

- зона компостирования, которая включает участок подготовки вспомогательных материалов (измельчение), участок увлажнения древесины и участок смешивания ее с осадком;
- сборник поверхностного стока, используемого для увлажнения компостируемой массы. Вода собирается в сборник, который расположен в самой низкой точке площадки имеющей необходимый уклон;
- участки хранения сырья и вспомогательных материалов;
- участок хранения готового компоста.

В результате биокомпостирования образуется темно-коричневый материал, влажностью 50-60% без неприятного запаха, который может использоваться в качестве удобрения, почвоулучшающей добавки и для улучшения структуры почв.

УДК 628.355

И. А. Гребенчикова, доц., канд. техн. наук (БГТУ, г. Минск)

А. А. Шкадун, техник-лаборант,

(ОАО «Пуховичский комбинат хлебопродуктов», г. Марьина Горка)

### **ДООЧИСТКА АНАЭРОБНО ОБРАБОТАННОГО ФУГАТА ПОСЛЕСПИРТОВОЙ БАРДЫ В БИОРЕАКТОРЕ С ИММОБИЛИЗОВАННЫМ АКТИВНЫМ ИЛОМ**

Одним из перспективных направлений переработки послеспиртовой барды является получение на ее основе кормового продукта и биогаза [1]. Технология включает стадию обработки фугата барды в анаэробных условиях в биореакторе с гранулированной биомассой активного ила (АИ). Образующийся при этом анаэробно обработанный фугат имеет высокий уровень загрязненности, и перед сбросом в городские канализационные сети требуется его дополнительная очистка.

Целью настоящей работы являлась установка параметров доочистки анаэробно обработанного фугата послеспиртовой барды в аэробных условиях.

Объектом исследования являлись анаэробно очищенные жидкие отходы спиртового завода, характеризующиеся следующими показателями: уровень загрязненности по ХПК – 1150–3500 мг/дм<sup>3</sup>, БПК<sub>5</sub> – 350–2100 мг/дм<sup>3</sup>, взвешенным веществам – не более 100 мг/дм<sup>3</sup>, азоту аммонийному – 500 мг/дм<sup>3</sup>, рН 6,5–7,8.

Эксперимент проводили с февраля по май 2016 г.

Аэробный процесс моделировали в лабораторном биореакторе вместимостью 1,1 дм<sup>3</sup>. Аппарат оснащали загрузкой из полиамидного волокна (насадка «ВИЯ»), расположенного вертикальными рядами на

полом цилиндрическом перфорированном каркасе. Плотность упаковки биореактора носителем составляла  $12 \text{ г/дм}^3$ . Подачу воздуха осуществляли при помощи микрокомпрессора в центральную часть аппарата. При этом вокруг насадки создавался циркулирующий поток иловой смеси, что обеспечивало интенсивный массообмен в биореакторе. Уровень аэрации сточной жидкости составлял не менее  $16 \text{ м}^3/(\text{м}^3 \cdot \text{ч})$ .

Качество фугата барды, сточных и биологически очищенных вод (БОВ) оценивали по показателям ХПК, БПК<sub>5</sub>, pH [2]. Значение ХПК определяли при помощи автоматического измерителя, состоящего из блока подготовки проб HI 839800 CODREACTOR и анализатора Multiparameter Bench Photometer. Показатель pH измеряли с использованием прибора membrane pH meter HANNA instruments HI 8314. Для АИ устанавливали структуру и состав биоценоза [3], а также концентрацию биомассы, находящейся в биореакторе в свободном состоянии и иммобилизованной на волокнистом носителе.

Запуск аэробного биореактора производили следующим образом. Использовали подготовленный аппарат с предварительно частично сформированным биоценозом АИ. Часть жидкости заменяли разбавленным анаэробно обработанным фугатом барды. Для накопления биомассы ила и адаптации организмов к компонентам сточной жидкости проводили постоянную подпитку биореактора анаэробно обработанным фугатом барды в количестве  $40 \text{ см}^3$  с периодичностью 1–2 суток в течение 34 суток

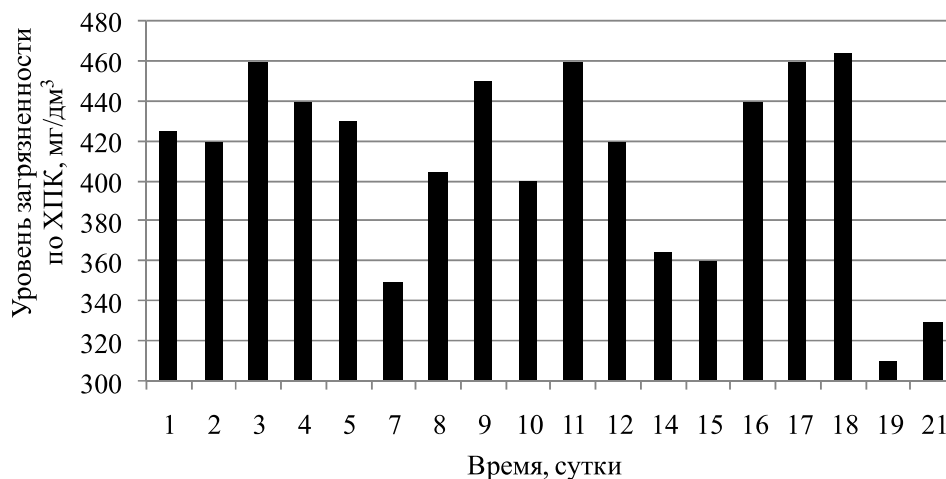
В начальный период запуска отмечено формирование мелких хлопков АИ, наличие в иловой смеси небольшого количества мелких жгутиконосцев, а также покоящихся форм простейших организмов (цист). Спустя 4 недели работы биореактора в биоценозе присутствовали нематоды, голые и раковинные амебы, а также отдельные виды свободноплавающих инфузорий. Сформировались достаточно крупные хлопки с большим количеством локализованных на них организмов, в основном мелких раковинных амеб. В биоценозе появились беспанцирные коловратки, кругоресничные инфузории.

Через 5 недель работы при минимальном уровне подпитки концентрация свободной биомассы в биореакторе составила  $0,83 \text{ г/дм}^3$ , удерживающая способность волокнистого носителя –  $0,13 \text{ г/г}$ . Значение ХПК очищенных вод в период накопления АИ находилось на уровне  $550\text{--}850 \text{ мг/дм}^3$ , pH –  $7,0\text{--}7,5$ . Эффективность работы аппарата по ХПК составляла 5–50%. В течение 5 недель в биореакторе сформировался стабильный биоценоз АИ, в котором присутствовало около 10 видов простейших и многоклеточных организмов.

Далее производили ступенчатое увеличение объема подпитки

(60, 120, 240, 480 см<sup>3</sup>/сут.) с интервалом 7 суток. Пробы очищенных вод отбирали ежедневно. Одновременно с определением физико-химических показателей БОВ исследовали характеристики АИ.

Установлено, что при объеме подпитки биореактора 60, 120, 240 см<sup>3</sup>/сут. (время пребывания сточной жидкости 400, 200, 100 ч, скорость разбавления среды – 0,0025; 0,005; 0,01 ч<sup>-1</sup> соответственно) в аэробном биореакторе удалялось до 50% загрязнений по ХПК, при этом значение ХПК очищенных вод не превышало 500 мг/дм<sup>3</sup> (рис. 1). Хлопки АИ оставались крупными, с четко очерченной границей, и обладали хорошей седиментационной способностью. Видимых изменений видового состава биоценоза не наблюдалось, условия процесса способствовали росту численности многоклеточных организмов (коловраток).



**Рисунок 1 - Эффективность функционирования аэробного биореактора при скорости разбавления среды 0,0025 ч<sup>-1</sup> (1–7 сутки), 0,005 ч<sup>-1</sup> (8–14 сутки) и 0,01 ч<sup>-1</sup> (15–21 сутки)**

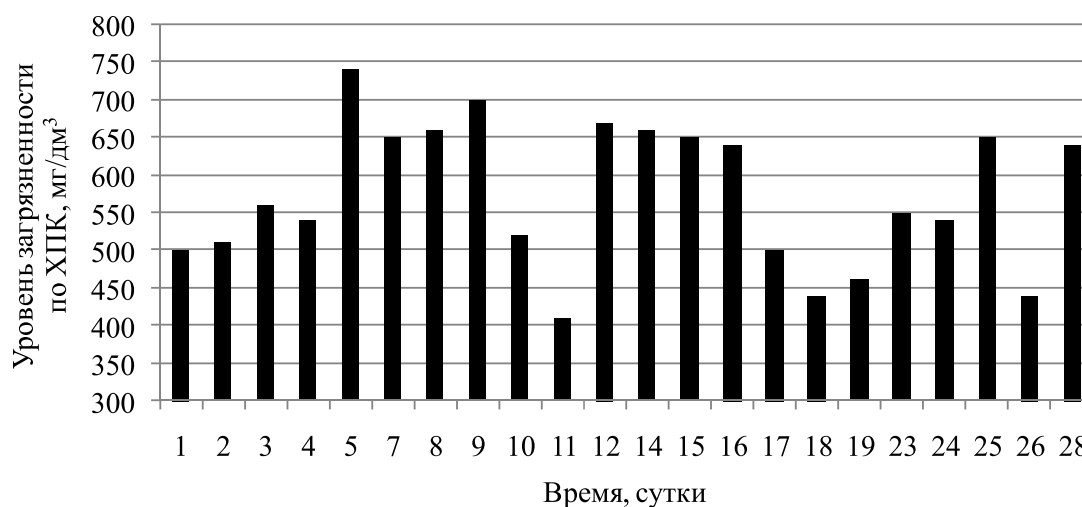
Увеличение объема подпитки до 480 см<sup>3</sup>/сут. (время пребывания – 50 ч, скорость разбавления среды – 0,02 ч<sup>-1</sup>) привело к тому, что на 5-е–9-е сутки функционирования в данном режиме значение ХПК повысилось до 650–740 мг/дм<sup>3</sup> (рис. 2). В течение последующего периода прекращение внесения сточной жидкости на 1–2 суток привело к снижению показателя ХПК до 410–460 мг/дм<sup>3</sup>, однако при восстановлении прежнего уровня подпитки значение ХПК БОВ снова возрастало до 550–850 мг/дм<sup>3</sup>. Кроме того, наблюдалось увеличение цветности БОВ.

Наблюдения показали, что при скорости разбавления среды 0,02 ч<sup>-1</sup> происходило постепенное измельчение хлопков АИ и деградация биоценоза с уменьшением количества многоклеточных организмов (нематод, коловраток). Это свидетельствует о несоответствии

высокой нагрузки по загрязнениям возможностям биоценоза, сформированного на этот момент времени.

Результаты проведенных исследований позволяют сделать следующие выводы.

Запуск аэробного биореактора с иммобилизованным на волокнистом носителе АИ для доочистки анаэробно обработанных жидких отходов спиртового производства может быть осуществлен в течение 1,5 месяцев при условии предварительной инокуляции АИ действующих очистных сооружений. За этот период в биореакторе формируется биоценоз, включающий около 10 видов простейших и многоклеточных организмов, адаптированный к составу сточной жидкости и способный функционировать в условиях ее повышенной загрязненности.



**Рисунок 2 - Эффективность функционирования аэробного биореактора при скорости разбавления среды  $0,02 \text{ ч}^{-1}$**

Процесс очистки протекает стабильно при скорости разбавления от  $0,0025 \text{ ч}^{-1}$  до  $0,01 \text{ ч}^{-1}$ , что соответствует времени пребывания от 400 до 100 ч. При этом эффективность очистки по ХПК составляет до 50%, уровень загрязненности БОВ не превышает  $500 \text{ мг/дм}^3$ . При скорости разбавления  $0,02 \text{ ч}^{-1}$  (время пребывания 50 ч) происходит рост значений ХПК, ухудшение состояния биоценоза и показателей хлопка ила.

Таким образом, при уровне загрязненности анаэробно обработанного фугата барды по ХПК до  $1250 \text{ мг/дм}^3$ , БПК<sub>5</sub> – до  $585 \text{ мг/дм}^3$ , взвешенным веществам – до  $100 \text{ мг/дм}^3$  аэробную доочистку в биореакторе с иммобилизованным на волокнистой полиамидной насадке активным илом можно рекомендовать при скорости разбавления среды до  $0,01 \text{ ч}^{-1}$  (время пребывания 100 ч). Расход воздуха при этом должен составлять не менее  $16 \text{ м}^3/(\text{м}^3 \cdot \text{ч})$ , рН 6,5–7,8.

Для достижения показателей, отвечающих условиям сброса в

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](mailto: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.