

# *ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ХИМИЧЕСКОЙ ТЕХНОЛОГИИ, БИОТЕХНОЛОГИИ И В ПРОИЗВОДСТВЕ ПИЩЕВЫХ ПРОДУКТОВ*

## **АНАЛИЗ РАБОТЫ АНАЭРОБНОГО БИОРЕАКТОРА С ПСЕВДООЖИЖЕННЫМ СЛОЕМ ГРАНУЛИРОВАННОГО ИЛА ПРИ ОЧИСТКЕ СТОЧНОЙ ВОДЫ ПРОИЗВОДСТВА СЫРОВ**

**Рымовская М.В., Наврось А.Н., Витебский С.А.**

*Учреждение образования «Белорусский государственный  
технологический университет», Минск, Республика Беларусь, +375-17-364-28-03*

Интенсивно развитие технологий анаэробной очистки сточных вод обусловлено прежде всего их экономичностью: эксплуатационные расходы, по сравнению с аэробной очисткой, снижаются практически в три раза, избыточный активный ил стабилен при хранении и может служить источником витамина В<sub>12</sub> для сельскохозяйственных животных, отводимый из биореактора биогаз является ценным энергоносителем. Прирост биомассы активного ила относительно невысокий (не более 7% от массы утилизированных органических веществ), поэтому в таких системах очистки требуется создание и поддержание высокой концентрации биомассы в объеме. Из известных на настоящий момент приемов оптимальным является использование гранулированного анаэробного активного ила – плотных упругих структур обтекаемой формы. Концентрация клеток микроорганизмов по сухой массе в таком иле может достигать 250 г/дм<sup>3</sup>. Поступление питания (органических веществ) к гранулам решается обычно подачей сточной воды в нижнюю часть биореактора, интенсификация массообмена достигается путем рециркуляции части потока сточной воды с равномерным омытием гранул ила очищаемой жидкостью в расширенном или псевдооживленном слое ила.

На ОАО «Туровский молочный комбинат» (г. Туров, Республика Беларусь) с 2013 года введены в действие локальные очистные сооружения, спроектированные и установленные компанией Voith Paper GmbH & Co. Ключевой стадией для удаления растворенных органических веществ из сточной воды производства сыров является биореактор с псевдооживленным слоем. Для усреднения состава очищаемой воды и расширения слоя ила часть жидкостного потока на выходе из биореактора возвращается для рецикла, предусмотрены устройства для отделения активного ила и биогаза от биологически очищенной воды в верхней части биореактора, очистки и сбора биогаза. В сточную воду дозируют кислую сыворотку для поддержания уровня загрязненности сточных вод на относительно постоянном уровне. Доля этого вида сыворотки в общем объеме на производстве составляет около 40% от общего количества образующейся при переработке коровьего молока сыворотки. Несмотря на общую тенденцию переработки и использования сыворотки, кислая сыворотка, образующаяся при производстве осажденного неорганическими кислотами казеина, творога и сыров типа Рикотта, не так активно идет на переработку как сладкая из-за содержания большего количества минеральных солей и низкого рН. Нейтрализацию сточной воды перед анаэробным биореактором ведут путем дозирования раствора гидроксида натрия. Пуск и введение в эксплуатацию анаэробного биореактора в 2013 году вели после загрузки его гранулированным активным илом (см. рис., а), отобраным из биореакторов аналогичной конструкции с предприятий по переработке картофеля, расположенных в Нидерландах и Италии, с заполнением Туровского анаэробного биореактора более чем на 75%. Ил имел размер гранул 3-8 мм, практически правильную эллиптическую форму. Внешний слой гранулы прозрачный, упругий, представляет собой плотно упакованную биомассу бактерий в слизистом матриксе. Внутри гранулы есть полость, заполненная рыхлым содержимым – частично минерализованным органическим веществом. Содержание органических веществ от сухих веществ гранул составляло 75-88 % масс. При эксплуатации анаэробного биореактора сразу после вывода его на режим при концентрации химического потребления кислорода (ХПК) и летучих жирных кислот (ЛЖК) соответственно 4300-6800 мгО/дм<sup>3</sup> и 1600-3800 г/дм<sup>3</sup> на входе в биореактор эффективность очистки составила 91-95%. Вынос ила из системы

биореактора с биологически очищенной водой в период сразу после пуска составил в среднем  $3 \text{ см}^3/\text{дм}^3$ , что в пересчете на суточный расход составит около  $2 \text{ м}^3/\text{сут}$ . При дальнейшей эксплуатации биореактора эффективность очистки по ХПК снизилась до 74-90%. Частично это может быть объяснено большим разбросом состава сточной воды (для сравнения, загрязненность по ХПК на входе в этот период составляла  $2700\text{-}10500 \text{ мгО}/\text{дм}^3$ ), ее температуры и pH, количества подаваемой на очистку воды.

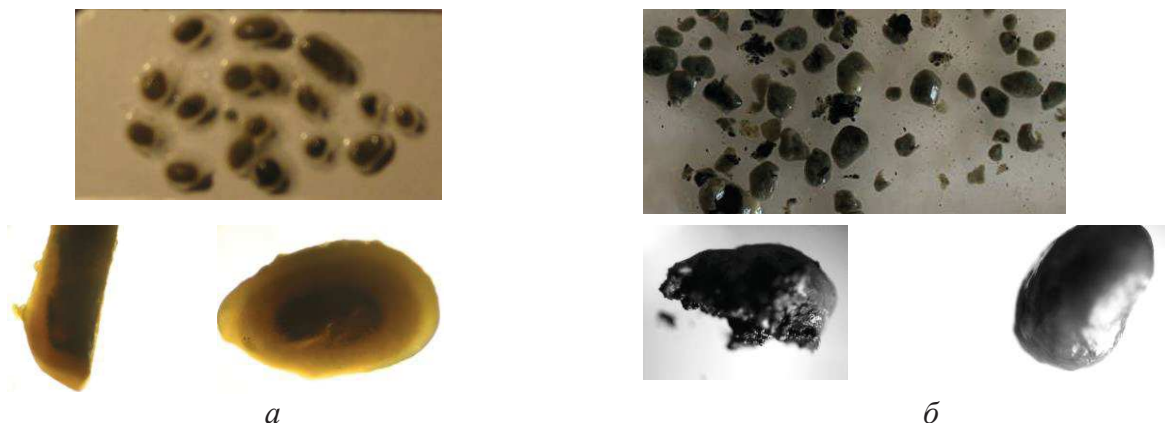


Рисунок – Гранулированный активный ил из анаэробного биореактора, работающего на ОАО «Туровский молочный комбинат» (г. Туров, Республика Беларусь):

*а* – в период 2013-2016 гг.; *б* – в период 2017-2020 гг.

В биореакторе с 2013 по 2017 год поддерживалась относительно невысокая скорость рециркулирующего жидкостного потока ( $110\text{-}120 \text{ м}^3/\text{ч}$ ), что коррелирует с невысокой зольностью ила. Расчеты показали, что вынос гранулированного и флокулированного ила из анаэробного биореактора составил  $1500 \text{ м}^3$  за исследуемый период, тогда как расчетный прирост анаэробного ила был  $0,9 \text{ м}^3/\text{сут}$  (или около  $600 \text{ м}^3$  за исследуемый период). Для биореактора это привело к постепенному снижению количества гранулированного ила в биореакторе до уровня менее  $\frac{1}{4}$  по высоте биореактора, что в 2017 году привело к необходимости дополнительной его загрузки, был закуплен анаэробный гранулированный ил (см. рис., *б*) с производства пива, расположенного в Российской Федерации. Этот ил имел размер гранул 2-5 мм, форма гранул угловатая, обтекаемая, присутствуют фрагменты гранул, хлопья ила. Внешний слой гранулы непрозрачный, строение гранулы подобно описанному выше илу, использовавшемуся при запуск биореактора. Содержание органических веществ от сухих веществ гранул составляло 45-62% масс. При концентрации ХПК на входе в биореактор  $2800\text{-}13300 \text{ мгО}/\text{дм}^3$  эффективность очистки за 2017-2019 гг. составила 63-95%. Средняя скорость рециркуляции в этот период составила  $120\text{-}150 \text{ м}^3/\text{ч}$ . Средняя концентрация кислой сыворотки в потоке сточной воды в этот период снизилась до 6% (в предыдущий период она составила в среднем 9%). Интересной особенностью изучаемых периодов стало сравнение средних значений расчетного и фактического значений объемного расхода биогаза: при сопоставимых нагрузках по утилизированному ХПК ( $3,38$  и  $4,01 \text{ тО}/\text{сут}$  в 2013-2017 гг и 2017-2019 гг соответственно) в первом случае фактическое значение было больше расчетного ( $78$  и  $71 \text{ м}^3/\text{ч}$ ), а во втором – меньше ( $70$  и  $83 \text{ м}^3/\text{ч}$ ). Это косвенно может свидетельствовать о большей активности ила, использовавшегося в 2013-2017 гг., точного расчета продуктивности ила по биогазу сделать не удалось. Расчеты показали, что вынос гранулированного и флокулированного ила из анаэробного биореактора составил  $370 \text{ м}^3$  за исследуемый период, тогда как расчетный прирост анаэробного ила был  $1,1 \text{ м}^3/\text{сут}$  (или около  $1000 \text{ м}^3$  за исследуемый период), что коррелирует с результатами лабораторного контроля концентрации влажного ила в биореакторе.

Стабильность процесса анаэробной очистки сточных вод, контроль над ним и более того – управление пока не проработаны в Республике Беларусь на достаточном уровне. Прежде всего, недостаточно фактического опыта эксплуатации таких систем с грамотным технологическим сопровождением и анализом такого опыта.