

ционных свойств показатель сорбции вышеуказанных ионов был следующим.



Таким образом была изучена кинетика абсорбции ионов меди (II), хрома (VI) и Mn(VII) анионитами и рассчитана энергия активации сорбционного процесса. Полученные результаты свидетельствуют о том, что исследуемый процесс подчиняется законам реакций псевдovторого порядка, наряду с ионами в системе происходят реакции ионного обмена за счет ионогенных групп в ионите. При изучении изотермического равновесия процесса сорбции с использованием современных моделей изотерм было установлено, что этот процесс подчиняется мономолекулярной теории Ленгмюра.

ЛИТЕРАТУРА

1. Muxamediyev M., Bekchanov D., Djurayev M., Khushvaqtoev S. Synthesis of a new granulated polyampholyte and its sorption properties // International Journal of Technology.–2020, № 4 –pp.794-803.
2. Peter Lieberzeit, Davron Bekchanov, Mukhtar Mukhamediev “Polyvinyl chloride modifications, properties, and applications” Polym Adv Technol. wileyonlinelibrary.com/journal/pat. –2022. – 1–12 p.
3. Кутлимуратов Н.М., Бекчанов Д.Ж., Мухамедиев М.Г. Изотерма и кинетика сорбции ионов Cu (II) анионитами, на основе поливинилхлорида пластика и отходов аминов используемых в газоочистке // Universum: Химия и биология. – 2021, Вып.: 8(86), – С. 34-41.
4. Кутлимуратов Н.М. Химическая стабильность и сорбционные свойства анионита, полученного на основе местного сырья и отходов // Науч. вестник Ферганского гос. унив.. – 2022, №3. – 127-133 с.

УДК 628.355.2

М.В. Рымовская, канд. техн. наук, доц. (БГТУ, г. Минск);
И.С. Ильюкевич, инженер по качеству (РУП «Белмедпрепараты», г. Минск);
А.Р. Свердлова, технолог
(ООО «Научно-производственный центр БелАгроГен», г. Горки)

ОЦЕНКА БИОХИМИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ ГРАНУЛИРОВАННОГО ИЛА В ТЕХНОЛОГИИ АНАЭРОБНОЙ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД МОЛОКОПЕРЕРАБАТЫВАЮЩИХ ПРОИЗВОДСТВ

Традиционно используемая технология аэробной очистки сточных вод в сооружениях с флокулированным илом совершенствуется

параллельно с группой анаэробных технологий очистки. Недостатками этой группы методов являются неприятный запах биогаза и сброженного осадка из-за присутствия в них органических производных аммиака и сероводорода, неполная деструкция биоразлагаемых веществ, а также медленный рост и высокая требовательность к условиям жизнедеятельности метаногенных бактерий. В отличие от аэробных для анаэробных процессов характерны более низкие скорости биохимических реакций, повышенная чувствительность к наличию токсикантов, длительность запуска биореактора [1]. Удержание в объеме биореактора больших объемов биомассы деструкторов путем иммобилизации на носителе либо самоиммобилизации (агрегирования) позволяет нивелировать большую часть обозначенных недостатков. В Республике Беларусь уже эксплуатируется несколько локальных очистных сооружений анаэробной очистки сточных вод в системах с гранулированным илом, однако приемлемых эксплуатационных данных и системы инструкций для управления этим процессом пока нет.

Целью работы являлось изучение влияния условий анаэробной очистки сточной воды на биохимическую активность гранулированного ила. Объектом исследования были гранулированный активный ил, подаваемая на очистку сточная вода и надилловая жидкость из лабораторных биореакторов.

В ходе исследования использовали 18 биореакторов, эксплуатировавшихся в полунепрерывном режиме при температуре 30°C. В основе конструкции лежала вертикальная цилиндрическая емкость рабочим объемом 200 см³, из которых 50 см³ занимает анаэробный гранулированный ил, 150 см³ очищаемая вода. Гранулированный активный ил для инокуляции был отобран из анаэробного биореактора с псевдооживленным слоем ила, применяемого на локальной очистной станции ОАО «Туровский молочный комбинат» (г. Туров, РБ). Подпитку биореакторов сточной водой, отбор проб жидкости из биореакторов и удаление биологически очищенной воды вели без нарушения анаэробнозона с использованием шприца с длинной иглой для прокола резиновой крышки емкости. Регулирование реакции среды вели 1 раз – на первые сутки эксперимента при достижении значения рН 6,5 и ниже до скорректированного значения рН 7,0. Перемешивание содержимого биореактора осуществляли 1 раз в сутки, обычно – во время подпитки или отбора проб.

Для подпитки микроорганизмов ила органическими веществами использовали модельную сточную воду молокоперерабатывающего производства, приготовленную на основе сухой сыворотки с внесением нитрата натрия, поскольку мойка оборудования на предприятиях отрасли происходит с использованием растворов гидроксида натрия и азотной кислоты.

В результате анализа источников информации выявили наиболее значимые условия анаэробной очистки сточной воды – нагрузку по органическим загрязнителям, оцениваемую по изменению химического потребления кислорода (ХПК), мг О/дм³, и способ регулирования рН (в первую очередь – реагент для этого). На основании анализа опытно-эксплуатационных данных за рабочую, характерную для нормальных условий работы таких установок (4 кг О/(м³·сут)) и с учетом полупериодического режима (подпитка 1 раз в 2 сут), приняли нагрузку на уровне 8 кг О/м³, условия низкой и высокой нагрузки моделировали при 4 и 16 кг О/м³ соответственно. Стабильность рН в биореакторах обеспечивается щелочностью, обусловленной в первую очередь присутствием ионов аммония, находящихся в равновесии с газообразным аммиаком, и карбонат- и гидрокарбонат-ионов, находящихся в равновесии с газообразным диоксидом углерода. При небольших расходах стоков в качестве реагента часто применяют растворы гидроксида натрия благодаря простоте его дозирования, скорости растворения, высокой скорости реакции и отсутствию шлама. Поэтому в качестве реагентов для коррекции рН использовали 10% растворы гидроксида аммония, гидрокарбоната натрия и гидроксида натрия.

Биохимическую активность ила оценивали путем расчета скорости утилизации органических загрязнителей по ХПК на единицу сухой массы ила, г О/(кг·сут), накопления аммонийного азота на единицу сухой массы ила, г NH₄⁺/(кг·сут), а также высева жидкости из биореакторов в объем плотных питательных сред. Для высева использовали четыре варианта питательных сред: с двумя источниками углерода (лактозой и уксусной кислотой) при двух вариантах значений рН (6,0 и 7,0 соответственно). В качестве источника биогенных элементов использовали концентрат М9, концентрация агар-агара в средах 1,5% масс., температура культивирования 30°С. Учет результатов проводили через 8 и 24 ч для высева на среды с лактозой и через 3–5 сут для высева на среды с уксусной кислотой. Газообразование на средах с лактозой оценивали как свидетельство протекания стадий гидролиза и кислотогенеза, на средах с уксусной кислотой – как свидетельство протекания стадии метаногенеза.

Максимальная скорость утилизации органических загрязнителей по ХПК достигается в первый день после внесения подпитки, далее во все последующие дни скорость падает. В условиях эксперимента при низкой нагрузке скорость составляет от 10 до 20 г О/(кг·сут), при средней – от 120 до 140 г О/(кг·сут), при высокой – от 350 до 370 г О/(кг·сут). При использовании разных реагентов для коррекции рН не было замечено существенных отличий в результатах. Скорость утилизации загрязнений при коррекции рН гидрокарбонатом натрия прямо пропорционально зависит от нагрузки по органическим веще-

ствам, рН на 5 сутки во всех биореакторах близок к 7,0. Аммиачную воду можно использовать для коррекции рН в области высоких нагрузок по органическим загрязнителям. При использовании гидроксида натрия повышение нагрузки по органическим веществам привело к снижению удельной скорости деструкции и сдвигу рН в кислую область из-за запаздывания фазы кислотогенеза.

Скорость накопления аммонийного азота в биореакторах, в которых в качестве реагента для коррекции рН использовали гидрокарбонат натрия, была максимальной и составляла от 0,7 до 1,1 г NH_4^+ /(кг·сут) на первый день после внесения подпитки, далее концентрация аммонийного азота резко снижалась. Это свидетельствует об активном процессе разложения белков в первые сутки, потреблении органических кислот, увеличении рН и поэтому – переходе ионов аммония из растворенного состояния в газообразное. Менее выражено те же процессы протекали и в остальных биореакторах.

При эксплуатации биореакторов при низкой нагрузке (менее 0,5 кг ХПК/(м³)) и без вмешательства в рН жидкости наблюдали очень активное газообразование во всех пробирках с лактозой как источником углерода, а на средах с уксусной кислотой газообразование практически не наблюдалось (менее 10% случаев). Это свидетельствует об активном протекании стадия кислотогенеза, тогда как метаногенез подавлен.

В результате высева содержимого биореакторов через 1 сут после внесения подпитки в трех вариантах нагрузки и с тремя разными вариантами коррекции рН на средах с лактозой наблюдалось более активное газообразование, чем на средах с уксусной кислотой (таблица). Активность метаногенов больше при избыточной нагрузке, а активность утилизации лактозы до газа максимальна при рН 7,0 и при недостаточной нагрузке. Стадия метаногенеза стала протекать более бурно по сравнению с вариантом с низкой нагрузкой, выбор реагента для регулирования рН оказывал незначительное влияние.

В результате высева на 7 и на 14 сутки после внесения подпитки на средах с лактозой наблюдалось активное газообразование, на средах с уксусной кислотой газообразование отсутствовало, что оценили как подавление стадии метаногенеза.

Показано, что увеличение нагрузки по органическим веществам приводит к пропорциональному увеличению скорости утилизации их микроорганизмами в составе гранул активного ила. Режим подачи реагента для регулирования рН должен быть согласован с режимом подачи сточной воды и ее загрязненностью.

**Таблица – Результаты высева надиловой жидкости из биореакторов
в объем плотных сред**

Условия		Газообразование на среде с лактозой		Газообразование на среде с уксусной кислотой	
		pH 6,0±0,1	pH 7,0±0,1	pH 6,0±0,1	pH 7,0±0,1
Реагент для коррекции pH	Нагрузка, кг О/м ³				
NaHCO ₃	4	+	+	–	–
	8	–	+	–	+/-
	16	–	+	–	+
NH ₄ OH	4	+	+	–	–
	8	–	+	–	+/-
	16	–	+	+	+
NaOH	4	+	+	–	+
	8	–	+	–	–
	16	+/-	+/-	+	+

Для протекания стадии метаногенеза, обеспечивающей выведение органических загрязнителей из очищаемой воды, предпочтительно поддержание средних и высоких нагрузок по органическим веществам. Предложенный метод оценки биохимической активности, основанный на глубинном посеве надиловой жидкости из биореактора в объем плотных питательных сред, может быть использован для оценки протекания ключевых стадий утилизации органических загрязнителей в анаэробных условиях.

ЛИТЕРАТУРА

1 Маркевич, Р. М. Биотехнологическая переработка промышленных отходов. Лабораторный практикум: учеб.-метод. пособие для студентов специальности 1-48 02 01 «Биотехнология» спец. 1-48 02 01 02 «Технология ферментов, витаминов и продуктов брожения» / Р. М. Маркевич, И. А. Гребенчикова, М. В. Рымовская. – Минск: БГТУ, 2019. – 153 с.