

ВЛИЯНИЕ ХЛОРИДОВ И СУЛЬФАТОВ НА КАЧЕСТВО БИОЛОГИЧЕСКОЙ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ФЕРМЕНТНЫХ ПРЕПАРАТОВ

Аудра Скайсгирене, Петрас вайтекунас, Вытенис Забукас

*Кафедра охраны окружающей среды, Технический университет им. Гедиминаса, Вильнюс
ул. Саулетекио 11, LT-10223 Вильнюс-40, Литва. E-mail audra@delfi.lt vaitiek@itpa.lt
Кафедра технологических процессов, Университет Клайпеда, Vijuny g. 17, LT-91225 Клайпеда, Литва
E-mail: dekanas@jtf.ku.lt*

Получено 28 апреля 2004; принято 01 июня 2004

Резюме. В Литве широко применяется биологический метод очистки сточных вод, который характеризуется высокой эффективностью, низкой стоимостью и подходит для очистки различных видов стоков. В результате технологических процессов в водоемы попадают такие минеральные вещества, как хлориды и сульфаты. Данные вещества не удаляются из воды методом биологической очистки. Целью настоящей работы является определение концентрации хлоридов и сульфатов, исследование влияния ферментных препаратов на свойства активного осадка и энергопотребление, оценка энергетических изменений в трофической цепи питания в ходе биологической очистки. С целью анализа влияния минеральных солей на процессы биологического окисления была проведена серия лабораторных тестов: определены биологическая потребность в кислороде (BOD), концентрация активного осадка и другие показатели. Экспериментально было установлено, что концентрация хлоридов 400 мг/л нарушает деятельность микроорганизмов, а при концентрации 700 мг/л активный осадок не пригоден для биологической очистки. Кроме того, мы исследовали влияние ферментного препарата “Roebic” на процесс очистки сточных вод. В резервуаре с ферментом общее количество энергии после очистки увеличивается на 5–30 %. Путем расчета аккумуляции энергии в системе активного осадка было установлено, что ферментный препарат повышает энергетический уровень системы.

Ключевые слова: активный осадок, ферменты, биологическая очистка сточных вод, сульфаты, хлориды.

1. Введение

Проблема защиты водоемов тесно связана с очисткой поступающих в них сточных вод, однако, муниципальные водоочистительные установки в большинстве городов Литвы не могут обеспечить должную очистку. Метод биологической очистки широко применяется в Литве из-за высокой эффективности, низкой стоимости и способности очищать различные виды сточных вод. Наиболее просто регулируются процессы биологической очистки воды в системах активного осадка. Однако, процессы биохимической очистки воды достаточно сложные и зависят от ряда факторов, включая химический состав и концентрацию органического вещества в сточной воде, температуру воды и уровень pH, а также содержание токсичных веществ [1].

Замечено, что концентрации сточных вод, поступающих в очистительные установки, в последнее время возросли. В результате технологических процессов различные минеральные вещества, такие как хлориды и сульфаты попадают в водоемы. Данные вещества невозможно удалить из воды методом биологической очистки. Хлориды

попадают в воду с промышленными и бытовыми стоками, так как хлор и его соединения широко используются для обеззараживания стоков [2]. Соединения хлора применяются для устранения болезнетворных микроорганизмов, запахов в скотоводческих и рыбо-промысловых хозяйствах, для обработки солями в пищевой промышленности и т.д.

Микроорганизмы чувствительны к изменениям в осмотическом давлении в среде. Большое количество минеральных солей (KCl, NaCl) вызывает плазмолиз в клетках микроорганизмов, в результате чего микроорганизмы разрушаются.

Эффективность очистки сточных вод зависит от ряда факторов, включая наличие катализаторов. В то время, как ферменты способствуют обмену веществ, сульфаты окисляют среду для микроорганизмов, что негативно влияет на деятельность ферментов.

Целью данной работы является определение концентрации хлоридов и сульфатов, исследование влияния ферментного препарата на свойства активного осадка и потребление энергии, а также оценка энергетических изменений в трофической цепи питания в ходе биологической очистки.

2. Методы исследования

Количество кислорода, растворенного в воде, было определено по методу Винклера [3]. Сущность метода биохимического потребления кислорода (BOD₅) [4, 5] состоит в анализе образца воды после взбалтывания в заполненных закупоренных бутылках и их хранения в течении 5 дней при 20°C в темном месте. Концентрация растворенного в воде кислорода измеряется перед и после инкубации. Вычисляется потребление кислорода на 1 литр образца.

Для эксперимента использовалась модель, состоящая из двух резервуаров емкостью 5 литров каждый. Рабочий объем каждого резервуара – 3 литра. При помощи воздуха, подающегося микро компрессорами, активный осадок постоянно перемешивался с водой и поддерживался во взвешенном состоянии. Операционные условия были для аэрируемых сосудов были следующими: аэрация и смешивание активного осадка происходили ежедневно в течение 20 часов, затем аэрация отключалась на 4 часа, чтобы вода отстоялась. Во время периода адаптации (3–4 дня) микроорганизмы в активном осадке адаптировались к среде. Субстрат, используемый на этапе адаптации и эксперимента, состоял из глюкозы 150 мг/л и взвеси дрожжей 150 мг/л [6]. Дополнительно были представлены следующие загрязнители: KCl (концентрация хлорида 200 мг/л и 400 мг/л), во время другого эксперимента K₂SO₄ (концентрация сульфата 300 мг/л и 700 мг/л). Во вторую емкость был добавлен ферментный препарат Roebic (1,2 мл/л). Спустя 20 часов после остановки аэрации в образцах осел активный осадок [7]. Схема экспериментальной модели изображена на рис. 1.

Для определения аккумуляции энергии в системе активного осадка по следующей формуле была рассчитана теплотворная способность сточных вод (1) [8]:

$$K = 2,326 \cdot [145 \cdot C + 610 (H_2 - 0,125 \cdot O_2) + 40 \cdot S + 10 \cdot N], \text{ J/kg,}$$

где C – доля углерода в органическом веществе (% по весу); H₂ – доля водорода в органическом веществе (% по весу); O₂ – доля кислорода в органическом веществе (% по весу); S – доля серы в органическом веществе (% по весу); N – доля азота в органическом веществе (% по весу).

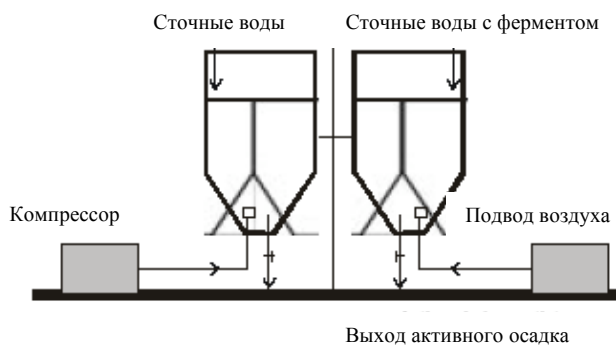


Рис. 1 Схематичная диаграмма экспериментальной модели

3. Результаты эксперимента

Энергия, необходимая для поддержания жизненных функций (например, обмен веществ – дыхание или испарение) происходит путем расщепления высоко энергетических веществ (диссимиляция, катаболизм).

Биологическая очистка сточных вод основана на биохимическом окислении веществ. Биологическое окисление является ферментным окислением клеточных субстратов с образованием CO₂, H₂O и мочевины. Данный процесс отличается от окисления, происходящего в неживой природе 1) постепенное окисление субстратов и высвобождение энергии, сохраняемой и макроэнергетических соединениях и особых химических связях; 2) ферменты являются катализаторами; 3) энергия высвобождается в результате окисления водорода с образованием воды. Чем больше количество питательных звеньев в системе, тем больше потребление энергии.

Индикаторы, такие как BOD₅, индекс осадка и концентрация осадка, отслеживались в ходе эксперимента; индикаторные микроорганизмы наблюдались с помощью микроскопа.

Во время эксперимента с KCl были исследованы 230 образцов BOD₅, 60 индексов осадка и 60 образцов концентрации; K₂SO₄ – 170 образцов BOD₅, 40 индексов осадка и 40 образцов концентрации.

3.1 Влияние хлоридов на биологическую очистку сточных вод

Большая часть загрязнителей входит в состав органического вещества, растворенного в воде. В ходе эксперимента с KCl изучались влияние ионов хлорида на процесс биохимического окисления и расщепление органических загрязнителей. Также определялось влияние KCl на обмен веществ в системе активного осадка. Параллельно проводилось три эксперимента: 1) KCl без загрязняющих агентов; 2) 200 мг/л Cl⁻, 3) 400 мг/л Cl⁻. Была установлена ежедневная концентрация Cl⁻, приносящая непоправимый ущерб активному осадку. Там, где концентрация хлоридов в сточных водах достигала 700 мг/л, микроорганизмы активного осадка погибали, и слой осадка всплывал на поверхность вместо оседания на дно после окончания аэрации.

Во время эксперимента было замечено, что, чем выше концентрация хлорида в сточной воде, тем сильнее положительный эффект от ферментов. На рис.2 изображена зависимость биохимической потребности в кислороде от концентрации хлоридов после биологической очистки воды. Так как концентрация хлорида колеблется в пределах 0–400 мг/л, зависимость представлена параболой порядка.

При увеличении концентрации хлоридов до 400 мг/л потребность в кислороде оставалась стабильной в резервуаре с ферментным препаратом в течение всего эксперимента. Это происходило из-за содержания в используемом ферментном препарате спор бактерий, которые обеспечивали постоянное обновление

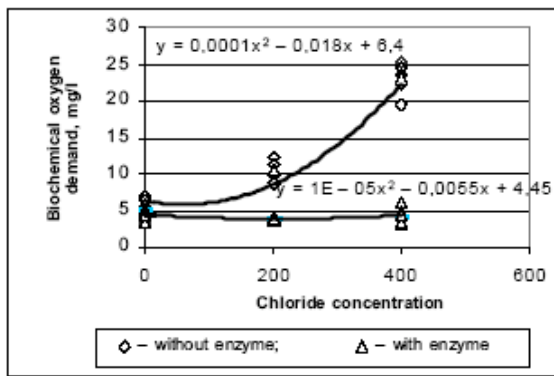


Рис. 2 Зависимость биохимической потребности в кислороде от концентрации хлорида активного осадка. Чем больше количество микроорганизмов, тем выше качество очистки сточных вод и меньше BOD_5 после очистки. В резервуаре без ферментного препарата концентрация BOD_5 возросла наряду с концентрацией хлорида и составляла на 20 мг/л выше, чем в резервуаре с ферментным препаратом. Хлориды характеризуются антисептическим эффектом. Там, где концентрация Cl^- в сточных водах достигает 400 мг/л, большое количество активных микроорганизмов, включая микроорганизмы, участвующие в процессе BOD , гибнут. См. рис. 3.

Когда высокая концентрация хлоридов (400 мг/л), которые попадают в резервуар со сточными водами, за 5 дней понижали концентрацию активного осадка более, чем в 2 раза (от 2,45 г/л до 1,05 г/л), применение ферментного препарата вызывало весьма небольшое изменение в концентрации активного осадка (от 2,21 г/л до 1,80 г/л).

Осмотическое давление возрастает с увеличением концентрации хлорида. Различные концентрации растворов среды и цитоплазма клетки обеспечивают осмотическое всасывание питательных веществ. Чем выше концентрация хлоридов в среде, тем большее количество воды передается из клетки в среду;

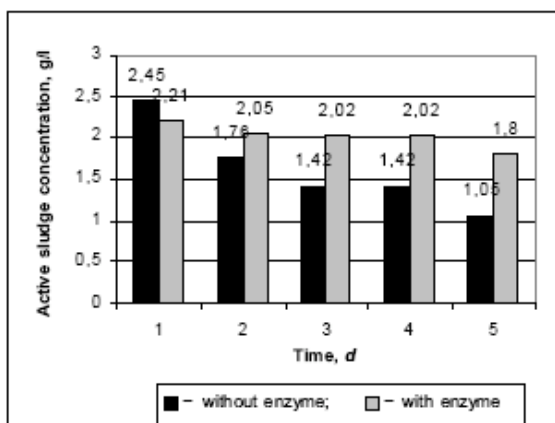


Рис. 3 Зависимость концентрации активного осадка от времени (концентрация хлорида 400 мг/л).

цитоплазма сокращается, сминается и отрывается от мембраны и стенки, в результате чего питательные вещества не попадают в клетку. Клетки погибают и концентрация активного осадка снижается.

Биохимическое окисление биохимического вещества тесно связано с обменом веществ в системе активного осадка, поэтому накопление энергии в активном осадке было определено на основании результатов эксперимента. 1,8 литра сточных вод (533,58 кКал) добавили в резервуар. Исследование показало, что количество энергии от 1 кг сухого активного осадка составило 15,000 кДж или 3585 кКал, что соответствует результатам подсчетов.

Существует прямая зависимость между количеством энергии в системе активного осадка и числом микроорганизмов. Общее количество энергии до очистки пропорционально концентрации активного осадка в резервуаре, так как исходная величина BOD постоянна и составляет 192 мг O_2 /л. Общее количество энергии после очистки зависит от количества микроорганизмов и BOD очищенных вод. Установлено, что в процессе эксперимента ферментный препарат добавляет энергию в систему (рис. 4).

На рис. 4 показано, что общее количество энергии в резервуаре без фермента остается практически неизменным, в то время, как концентрация хлоридов возросла. В резервуаре с ферментным препаратом, наоборот, общее количество энергии после очистки возросло на 5–30 %. В обоих случаях данные эксперимента были приближены к параболам второго порядка. Споры бактерий, содержащиеся в ферментном препарате, обеспечивают эффект обновления активного осадка. Чем больше количество микроорганизмов, тем выше уровень производительности ферментов; таким образом, защита от негативного воздействия хлоридов усиливается. Так как количество микроорганизмов (простейших) в системе увеличивается, т.е. количество питательных звеньев увеличивается, то рост биомассы замедляется, и потребляется большее количество энергии.

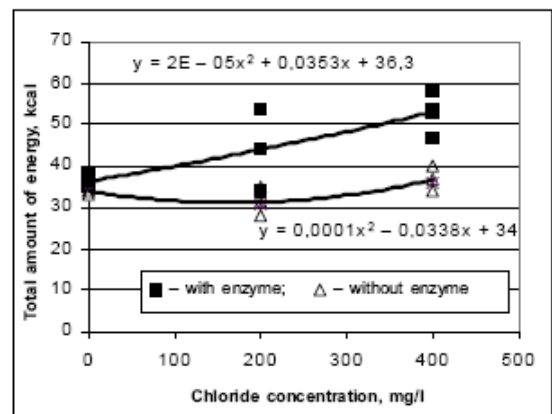


Рис. 4 Зависимость общего количества энергии от концентрации хлорида.

3.2 Влияние хлоридов на биологическую очистку сточных вод

С применением K_2SO_4 было исследовано воздействие ионов сульфата на процесс биохимического окисления и расщепления органических загрязнителей. Эксперимент показал наличие воздействия K_2SO_4 как на обмен веществ в системе активного осадка, так и на изменение в органическом веществе. Было проведено два параллельных исследования: 1) 300 мг/л SO_4^{2-} , 2) 700 мг/л SO_4^{2-} . В литературе отмечено, что SO_4^{2-} характеризуется свойствами окисления среды и торможения процесса очистки. В процессе эксперимента не было замечено влияния ферментного препарата на эффективность очистки сточных вод (рис. 5).

На рис. 5 показано, что увеличение концентрации сульфата в среде приводит к увеличению BOD_5 после очистки вод как в резервуаре с ферментом, так и в резервуаре без фермента (характер изменений представляется в виде параболы). Можно предположить, что из-за наличия окисляющих свойств сульфаты могут повредить активные центры фермента и оказать разрушающее влияние на активный осадок из микроорганизмов.

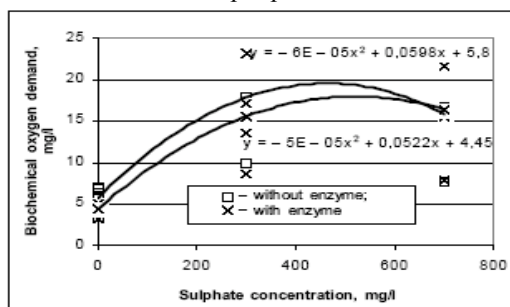


Рис. 5 Зависимость биохимической потребности в кислороде от концентрации сульфата.

Сравнение результатов экспериментов с KCl и K_2SO_4 показывает, что степень очистки (в резервуарах с ферментным препаратом), как было установлено по показателю BOD_5 , при наличии сульфатов снижается на ок. 33 %. Можно предположить, что ферменты больше подвержены влиянию ионов сульфатов, чем ионов хлоридов. В литературе отмечено, что ферменты являются ключевым фактором, влияющим на питание микроорганизмов и одновременно биохимическую очистку воды. Это объясняет высокое значение BOD_5 после очистки в ходе эксперимента с K_2SO_4 .

Там, где концентрация K_2SO_4 в резервуаре достигала 700 мг/л, активный осадок «раздувался», индекс осадка возрастал, и отложение активного осадка нарушалось так же, как в эксперименте с Cl^- .

Обмен веществ основной признак жизнедеятельности. Каждая реакция изменений в веществах вызывает изменение энергии в системе. Организм является открытой системой с постоянным балансом химического и энергетического обмена с окружающей средой – обменом веществ. Обмен веществ – это полный комплекс ферментных реакций, который обеспечивает базу для функционирования

живой системы. Вещества, попадающие в организм, подвержены воздействию белковых биокатализаторов (ферментов) и небелковых составляющих активных ферментов (коферментов). Воздействие ферментов и коферментов определяет ход реакций. Под влиянием ферментов и коферментов сокращается первоначальное количество энергии, необходимое для развития субстрата, и регулируется его дальнейшая трансформация. Влияние ферментов помогает сохранять баланс между первоначальными веществами и конечными продуктами их образования.

В начале эксперимента с K_2SO_4 наблюдалось значительное уменьшение в аккумуляции энергии. Можно предположить, что определенное количество сульфатов в сточной воде нарушило как обмен веществ микроорганизмов, так и активность ферментных активных центров. Тем не менее, в ходе более длительного процесса загрязнения часть микроорганизмов адаптировалась к измененным внешним условиям, аккумуляция энергии восстановилась и оставалась на более или менее стабильном уровне. При использовании сульфатов в качестве загрязнителей количество аккумулированной энергии было на 5–40 кКал меньше, чем в эксперименте с применением хлоридов.

4. Выводы

1. Экспериментально установлено, что концентрация хлоридов 400 мг/л нарушает активность микроорганизмов, и при концентрации активного осадка 700 мг/л не пригодна для биологической очистки. При высокой концентрации хлоридов (400 мг/л), попадающим в резервуар со сточными водами, концентрация активного осадка сокращается более чем в 2 раза (от 2,45 г/л до 1,05 г/л) в течение 5 дней, при использовании ферментного препарата происходило весьма небольшое изменение концентрации активного осадка (от 2,21 г/л до 1,80 г/л).

2. Так как концентрация хлорида увеличивается в резервуаре без фермента, общее количество энергии остается практически неизменным; в резервуаре с ферментом общее количество энергии после очистки возрастает на 5–30 %. Споры бактерий, содержащиеся в ферментном препарате обеспечивают обновление активного осадка.

3. После добавления дополнительной концентрации сульфата в систему биологической очистки ферментный препарат не имел воздействия на микроорганизмы в осадке и аккумуляцию энергии в системе. Можно предположить, что из-за окисляющих свойств сульфаты повреждают активные ферментные центры и разрушают микроорганизмы в активном осадке.

4. При вычислении аккумуляции энергии установлено, что в системе активного осадка ферментный препарат повышает энергетический уровень системы. Количество энергии, аккумулированной в процессе эксперимента с сульфатами, было на 5–40 кКал меньше, чем в эксперименте с хлоридами.