

УДК 628.33

**ПРИМЕНЕНИЕ МНОГОЗОННОЙ БИОХИМИЧЕСКОЙ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД
ОТ БИОГЕННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ****Т.С. КУПРИЯНЧИК***(Завод «Полимир» ОАО «Нафтан»);***А.В. ГАЛУЗО***(Витебскводоканал);***канд. техн. наук, доц. В.Д. ЮЩЕНКО***(Полоцкий государственный университет)*

Исследуется проблема использования биотехнологии нитри-денитрификации и биологической дефосфотации на очистных сооружениях. Подобрана технологическая схема биологической очистки. Разработана модельная установка для проведения статических экспериментов. Отработана методика исследований, проведения опытов; выполнен анализ полученных результатов. В итоге проведенного исследования достигнута эффективная очистка от органических веществ, получены данные по сокращению расхода воздуха на аэрацию сточных вод и уменьшению количества образующегося избыточного ила.

Ключевые слова: биогенные элементы, сточные воды, биохимическая очистка, избыточный ил.

Глубокое удаление азота и фосфора из сточных вод становится одной из основных задач на уже существующих сооружениях канализации, так как сооружения запроектированы и построены в то время, когда загрязнение водоемов биогенными элементами еще не было таким интенсивным. В настоящее время сооружения канализации, работающие по технологической схеме 1970–80-х годов (рассчитанной на удаление БПК и взвешенных веществ), не справляются с задачей глубокого удаления биогенных элементов азота и фосфора. В зависимости от объема поступления и характеристик сточных вод очистные сооружения неоднократно перестраивались, реконструировались и расширялись. Реконструкция сооружений биологической очистки, в частности аэротенка, выгодна и в экономическом плане, так как стоимость доочистки 1 м³ сточных вод на дополнительных сооружениях в 1,5...2 раза выше, чем сама очистка, а удельные затраты возрастают в 20...50 раз [1; 2].

Объект исследований, выбор технологической схемы. В качестве объекта исследования рассматривается станция аэрации «Витебскводоканал» и реальная сточная вода, отбираемая в различных точках по технологической схеме ее обработки. В состав сооружений биологической очистки входят аэротенки-вытеснители, работающие в режиме нитрификации, и вторичные отстойники. Установлено, что традиционная однозонная система биохимической очистки в аэротенках, позволяет изъять основную массу органических веществ, но не может обеспечить достаточную глубину удаления соединений азота и фосфора. Без изменения технологической схемы эффективность удаления соединений азота и фосфора составляет 10...30%, что не позволяет обеспечить нормативы предельно допустимого сброса в Западную Двину [3].

В аэротенке, работающем в режиме нитрификации, происходит последовательное двухстадийное окисление (сначала углерода, а затем азота). Этот процесс обусловлен условиями существования бактерий-нитрификаторов. На стадиях окисления углерода они ингибированы и включаются в активную деятельность после резкого снижения БПК₅ [1; 2; 4; 5]. Только при проведении биологической обработки сточных вод с различными зонами по аэробности возможно достичь максимально эффективного удаления биогенных элементов.

В настоящее время на станции аэрации города Витебска решается вопрос о замене четырех коридорных аэротенков на более совершенные сооружения по биохимической очистке сточных вод. Предполагается их реконструкция с применением биотехнологии с сочетанием аэробных и анаэробных зон. При этом качество очищенной сточной воды по содержанию азота и фосфора будет удовлетворять самым жестким требованиям на сброс для водоемов Республики Беларусь [6]. Данная биотехнология позволит удалить соединения азота и фосфора из смеси биологических и промышленных сточных вод на очистных сооружениях города Витебска. Предлагается ее реализация с созданием в аэротенке трех зон:

- *аэробной* (высокая концентрация растворенного кислорода), где протекают процессы аэробной очистки от органических веществ, нитрификации (биоокисления аммонийного азота до нитратного) и дефосфотации (быстрое потребление фосфатов фосфорными бактериями);

- *аноксидной* (растворенный кислород практически отсутствует, но есть нитраты, а также органические вещества), где происходит процесс денитрификации;

- *анаэробной* (нет растворенного кислорода, нитратов и нитритов, но есть органические вещества), где идет сбраживание органических веществ до ацетата, который потребляется фосфорными бактериями с выделением в среду фосфатов.

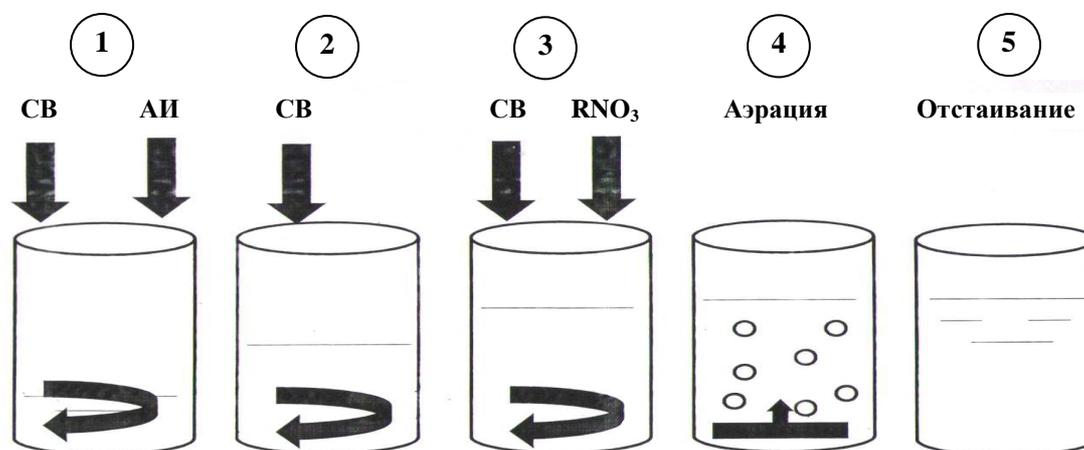
С этой целью на станции аэрации «Витебскводоканал» были проведены экспериментальные исследования на статической модельной установке по подбору эффективной технологической схемы с режимами нитри-денитрификации и биологической дефосфотации сточных вод.

Методика проведения исследований. Модельная установка представляет собой стальную емкость диаметром 1 м, высотой 1,9 м и рабочим объемом по сточной воде 1,2 м³.

Обеспечение технологических режимов обработки сточных вод с различной интенсивностью аэрации обеспечивалось мешалкой с редуктором и шестью дисковыми аэраторами диаметром 200 мм.

Стадии обработки сточных вод представлены на рисунке 1. Основу технологии очистки сточных вод составила трехзонная схема их анаэробно-аноксидно-оксидной обработки [7] с двумя перекачками иловой смеси: первая – из вторичного отстойника в предденитрификатор (стадии 5–1), вторая – из конца оксидной зоны в аноксидную (стадии 4–3). Для повышения эффективности обработки в анаэробной зоне использовался предденитрификатор.

В емкость модельной установки подавалась иловая смесь (стадии № 1), в которую при перемешивании с использованием мешалки добавлялась часть сточной воды (стадия № 2), снова перемешивалась уже с добавлением нитратосодержащей иловой смеси (стадия № 3). После окончания первых трех стадий данная смесь подвергалась аэрационной нитрификации (стадия № 4). Конечным процессом обработки сточных вод является вторичное отстаивание (стадия № 5), при этом часть активного ила из отстойника направлялась опять на предденитрофикацию.



1 – предденитрификация; 2 – анаэробная зона;
3 – денитрификация; 4 – нитрификация; 5 – отстаивание

Рисунок 1. – Стадии обработки сточной воды в модельной установке

Сущность биологических процессов заключалась в следующем. На *стадии № 1* происходит восстановление нитратов. Предварительная денитрификация возвратного ила более эффективно протекает при впуске части сточных вод, аэрация смеси не производилась, использовалась мешалка.

Анаэробная часть (*стадия № 2*) является реактором кислого брожения, в котором при отсутствии нитратов и растворенного кислорода часть микроорганизмов ила продуцирует из загрязнений сточных вод органические кислоты. Количество кислот может быть отражено содержанием летучих кислот жирного ряда. Наличие летучих жирных кислот способствует вытеснению фосфатов из клеток ила [1; 7]. Аэрация смеси отсутствовала, в работе находилась только мешалка для перемешивания иловой смеси.

Скорость денитрификации в аноксидной части (*стадия № 3*), в первую очередь, зависит от наличия легкоокисляемого органического субстрата в виде БПК₅, затем – от концентрации нитратов, степени рециркуляции нитратосодержащего потока, отсутствия растворенного кислорода. Работает мешалка.

Процесс нитрификации (*стадия № 4*) рассматривается как двухстадийный процесс. Нитрификаторы окисляют аммонийный азот до нитритов, затем до нитратов, при этом производилась аэрация сточных вод посредством дисковых аэраторов.

При проведении эксперимента в модельной установке решались следующие задачи по стадийной обработке воды:

- изучить в лабораторных условиях закономерности удаления загрязнений из сточных вод биологическим методом;
- подобрать соответствующую технологическую схему биологической очистки для сточных вод города Витебска, определить необходимые технологические параметры (объемы зон, время обработки и др.).

В ходе эксперимента отбирались пробы сточной воды, осветленной, очищенной и отстаивной воды, а также образцы ила. В воде определялись следующие показатели: температура, рН, БПК₅, ХПК, аммонийная группа, фосфор общий, взвешенные вещества. В иловой смеси определялись показатели: содержание кислорода, концентрация ила по массе, концентрация ила по объему. При этом измерение температуры, рН и объема ила производилось непосредственно у экспериментальной емкости. План эксперимента представлен в таблице 1.

Таблица 1. – План проведения эксперимента по биохимической очистке сточных вод при удалении биогенных элементов

№	Место отбора	Примечание
1	Исходная сточная вода из приемной камеры станции аэрации	–
2	Сточная вода после 1-го отстойника (осветленная)	Отбор до начала эксперимента
3	Нитратная иловая смесь	То же
4	Иловая смесь из бочки: t = 0 мин	Смешивание осветленной воды и нитратной иловой смеси – 1 мин с включением мешалки и отбором пробы
5	t = 30 мин	
6	t = 60 мин	
7	t = 90 мин	
8	t = 120 мин	
9	Сточная вода после 1-го отстойника (осветленная)	Отбор пробы
10	Иловая смесь из бочки: t = 0 мин	После добавления воды 1 мин перемешивание и отбор пробы
11	t = 30 мин	
12	t = 60 мин	
13	t = 90 мин	
14	t = 130 мин	
15	Сточная вода после 1-го отстойника (осветленная)	Отбор пробы
16	Нитратная иловая смесь	Отбор пробы
17	Иловая смесь из бочки: t = 0 мин	Смешивание осветленной воды и нитратной иловой смеси – 1 мин с включением мешалки и отбором пробы
18	t = 15 мин	
19	t = 30 мин	
20	t = 45 мин	
21	t = 60 мин	
22	t = 90 мин	
23	Аэрация: t = 30 мин	Включение аэрации и первый отбор через 30 мин
24	t = 60 мин	
25	t = 90 мин	
26	t = 120 мин	
27	t = 150 мин	
28	Отстаивание: t = 30 мин	Выключение аэрации, проведение отстаивания с отбором пробы через 30 мин
29	t = 60 мин	
30	t = 90 мин	
31	t = 120 мин	

Наблюдения за процессами в ходе эксперимента выявили типичные для данной технологии явления. В предденитрификаторе происходило восстановление нитратов и снижение содержания БПК, в анаэробной зоне – выделение фосфатов из ила, в денитрификаторе – снижение количества нитратов, а в нитрификаторе – окисление азота аммонийного с интенсивным извлечением фосфатов из воды активным илом.

Анализируя полученные данные (рис. 2), можно сделать вывод, что в бескислородных зонах аэротенка (стадии 1–2) микроорганизмы потребляют легкоокисляемые органические вещества за счет энергии, которая образуется в их клетках при разрыве полифосфатных связей с выделением в жидкую фазу ортофосфатов. В результате этой биохимической реакции произошло увеличение количества фосфора общего с 2,96 до 11,85 мг/дм³.

Концентрация фосфора в зонах денитрификации и нитрификации снижается до 10,85 мг/дм³ и 1,3 мг/дм³ соответственно. Это происходит вследствие того, что в анаэробных и аэробных условиях органическое вещество окисляется кислородом или нитратом и выделенная энергия используется бактериями для поглощения ортофосфата из водной среды. Далее происходит преобразование ортофосфата в полифосфат, который откладывается в клетках бактерий в виде гранул и необходим для повторения цикла потребления субстрата – летучих жирных кислот (ЛЖК) и роста биомассы [1]. Превышение количества потребленных фосфатов над количеством фосфатов, выделяемых в анаэробных условиях, объясняется приростом биомассы.

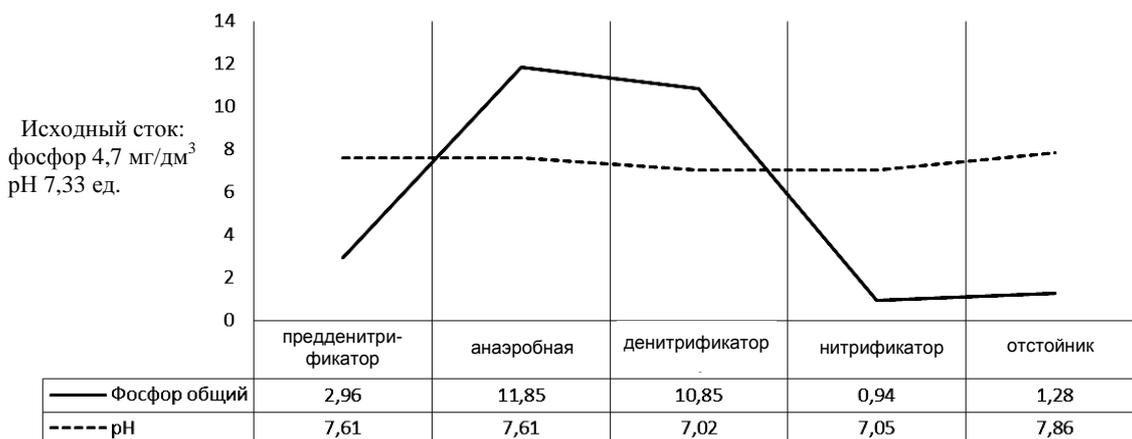


Рисунок 2. – Изменение содержания фосфора общего и pH среды в ходе эксперимента

В анаэробной зоне происходит ферментивное разложение части органического вещества загрязнений с образованием субстрата – ЛЖК, необходимых для проведения процесса дефосфотации и восстановления азота. В нитрификаторе далее протекают процессы окисления углерода, а затем – нитрификация. Данные по этим процессам отображены на рисунке 3.

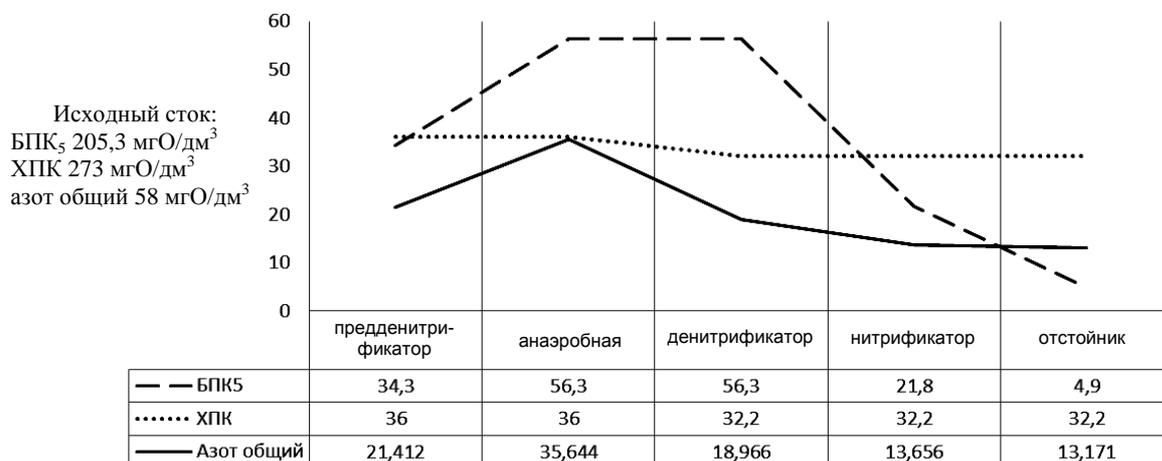


Рисунок 3. – Изменение содержания БПК₅, ХПК и азота общего в ходе эксперимента

Процесс нитрификации рассматривают как двухстадийный процесс, осуществляемый группами хемоавтотрофных бактерий. Нитрификаторы окисляют аммонийный азот до нитритов и затем до нитратов. Из всех кислородсодержащих соединений нитриты и нитраты используются для дыхания микроорганизмов как наиболее доступные при отсутствии кислорода или его низкой концентрации [2; 8].

Как видно из рисунка 3, концентрация азота общего изменилась в ходе эксперимента с 58 мг/дм³ до 13,6, что свидетельствует об эффективных процессах окисления – восстановления азотных соединений с выводом избыточного азота в атмосферу.

Снижение БПК₅ в ходе эксперимента составило 97,6% (4,9 мгО/дм³ после вторичного отстойника), ХПК – 88,2% (32,2 мгО/дм³ после вторичного отстойника).

Таким образом, в заключение исследования можно сделать следующие **выводы**:

- полученные в ходе исследования данные соответствуют требованиям ТКП 17.06-08-2012 [6];
- для достижения рекомендаций ХЕЛКОМ [3] по содержанию фосфора необходима реагентная доочистка, так как биохимическим способом невозможно достичь концентрации фосфора общего менее 1 мг/дм³, прежде всего из-за влияния на состав сточных вод промышленных предприятий города; вместе с тем достигнута эффективная очистка от органических веществ;
- получены данные по сокращению расхода воздуха на аэрацию сточных вод и уменьшению количества образующегося избыточного ила.

ЛИТЕРАТУРА

1. Долина, Л.Ф. Очистка сточных вод от биогенных элементов / Л.Ф. Долина. – Днепропетровск : Континент, 2011.
2. Технология удаления азота и фосфора в процессах очистки сточных вод / Б.Г. Мишуков [и др.]. – СПб. : Изд-во журн. «Вода: технология и экология», 2008.
3. Ющенко, В.Д. Анализ работы сооружений для удаления соединений фосфора из сточных вод на станции аэрации города Витебска / В.Д. Ющенко А.В. Галузо, Т.С. Куприянчик // Вестник Полоцкого государственного университета. – 2015. – № 3. – С. 115–119.
4. Жмур, Н.С. Технологические и биохимические процессы очистки сточных вод в сооружениях с аэротенками / Н.С. Жмур. – М. : Акварос, 2003.
5. Удаление азота и фосфора на канализационных очистных сооружениях / А.Н. Беляев [и др.] // Водоснабжение и санитарная техника. – 2008. – № 9.
6. Порядок установления нормативов допустимых сбросов химических и иных веществ в составе сточных вод : ТКП 17.06-08-2012 (02120). – Минск : РУП ЦНИИКИВР, 2012.
7. Куприянчик, Т.С. Экспериментальные исследования технологии «Денифо» на пилотной установке / Т.С. Куприянчик, Ю.П. Седлухо // Сб. науч. тр. 1-й Восточноевропейской региональной конф. молодых ученых и специалистов водного сектора, Минск, 21–22 мая 2009 г. – Минск, 2009.
8. Очистка сточных вод, биологические и химические процессы : пер. с англ. / М. Хенце [и др.]. – М. : Мир, 2009.

Поступила 15.12.2016

APPLICATION OF MULTI-ZONE BIOCHEMICAL WASTEWATER TREATMENT FROM BIOGENIC ELEMENTS

T. KUPRIYANCHIK, A. GALUZO, V. YUSHCHENKO

The problem of the use of biotechnology of nitrification and biological dephosphatization in treatment plants is being investigated. The technological scheme of biological treatment is selected. A model installation for conducting static experiments has been developed. The technique of research, conducting experiments has been worked out. The results obtained are analyzed. As a result of the study, effective purification from organic substances was achieved, data were obtained to reduce air consumption for aeration of waste water and reduce the amount of excess sludge formed.

Keywords: biogenic elements, sewage, biochemical treatment, excess sludge.