

ОЦЕНКА УСЛОВИЙ процесса биофильтрации сточных вод для глубокого удаления соединений **АЗОТА И ФОСФОРА**

В статье представлены результаты комплексной очистки коммунально-бытового стока от соединений углерода, азота и фосфора в процессе биофильтрации. В ходе экспериментальных исследований были изучены закономерности биотрансформации соединений азота, а также оценена возможность протекания денитрификации и дефосфотации в аэрируемом секционированном реакторе с прикрепленной биомассой.

Введение

В современных условиях развитие технологий биологической очистки коммунально-бытовых стоков характеризуется поиском и созданием новых технологий удаления биогенных элементов [1-4]. Установлено, что удаление из сточных вод одного из основных биогенных элементов, например азота или фосфора, приводит к предотвращению процесса цветения воды в водоеме, куда сбрасываются эти сточные воды [4]. Однако перед очистными сооружениями ставятся задачи достижения установленных жестких норм на сброс в водоемы загрязняющих веществ, что предполагает организацию эффективной комплексной очистки сточных вод от углерода, азота и фосфора.

Традиционными процессами биотрансформации соединений азота на очистных сооружениях являются нитрификация и денитрификация. Нитрификация успешно протекает в биофильтрах благодаря иммобилизации медленно растущих и чувствительных к условиям среды нитрифицирующих микроорганизмов, а протекание денитрификации в биофильтре является возможным благодаря наличию анаэробных микрозон в структуре биопленки и реактора. Согласно литературным данным биологическая дефосфотация протекает при сочетании анаэробных и аэробных условий в биологических реакторах со взвешенной биомассой [4, 5].

Т.В. Кирилина*,
аспирант кафедры
промышленной
биотехнологии
Казанского
государственного
технологического
университета

А.С. Сироткин,
доктор технических
наук, профессор,
зав. кафедрой
промышленной
биотехнологии
Казанского
государственного
технологического
университета

Л.И. Сейтвапова,
студент кафедры
промышленной
биотехнологии
Казанского
государственного
технологического
университета



Цель данной работы заключалась в оценке эффективности комплексного удаления соединений углерода, азота и фосфора в процессе биофильтрации коммунально-бытового стока.

Экспериментальные исследования предполагали решение следующих задач:

- ♦ организация процесса биофильтрации;
- ♦ оценка эффективности удаления органических веществ в процессе биофильтрации;
- ♦ анализ биотрансформации соединений азота в биофильтре;
- ♦ анализ протекания биологической дефосфотации сточной воды в реакторе с прикрепленной биомассой.

Материалы и методы исследования

Исследования удаления биогенных элементов из сточных вод в процессе их биофильтрации проводились на модельной пилотной установке – секционированном биофильтре, разработанном, изготовленном и смонтированном ООО ПКФ «ВЭКО» (г. Казань) (рис. 1) [6].

* Адрес для корреспонденции: tvkirilina@mail.ru

Первая, третья и пятая, финальная, секции биофильтра были заполнены фильтрующим материалом, в качестве которого выступал керамзит различных фракций с диаметром зерна от 5 до 20 мм. Вторая и четвертая секция биофильтра являлись промежуточными резервуарами, незаполненными фильтрующим материалом. Вода поступала снизу в 1-ю секцию и проходила все секции биофильтра последовательно. Помимо основной функции носителя закрепленной биомассы керамзит в финальной секции биофильтра выполнял функцию механического фильтра. Для инокуляции биофильтра и накопления биомассы на керамзите в систему подавалась сточная вода смешанного хозяйственно-бытового стока очистных сооружений канализации типового населенного пункта. По завершении пускового периода работы биофильтра на очистку поступал модельный раствор сточной воды, физико-химическая характеристика которого представлена в табл. 1 [7].

В процессе экспериментальных исследований гидравлическое время пребывания сточной воды в системе варьировалось в диапазоне от 6 до 7 ч. Выбор этого значения определялся ранее проведенными исследованиями, согласно которым наибольшая эффективность процесса очистки сточной воды по ХПК и аммонийному азоту соответствовала времени пребывания воды в системе, равном 6 ч [6].

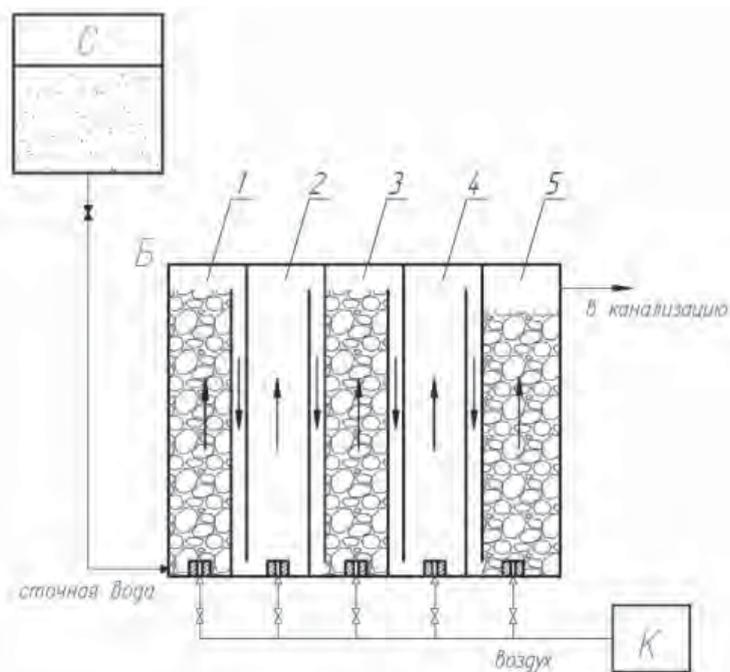


Рис. 1. Экспериментальная биофильтрационная установка: Б – биофильтр; 1, 2, 3, 4 и 5 – секции биофильтра; С – емкость-сборник поступающих на очистку сточных вод; К – компрессор для аэрации.

Чан Тхай Ха,

студент кафедры
промышленной
биотехнологии
Казанского
государственного
технологического
университета

**Он Нгуен
Хай Куинь,**

бакалавр кафедры
промышленной
биотехнологии
Казанского
государственного
технологического
университета

Таблица 1

Физико-химическая характеристика модельного раствора сточной воды, поступающего на биофильтрацию

Показатели	Количество
рН	6,1-7,3
Температура, °С	23-27
ХПК, мг/дм ³	116-340
БПК, мг/дм ³	73-250
аммонийный азот, мг/дм ³	12,1-33,6
азот нитритов, мг/дм ³	Не более 0,2
азот нитратов, мг/дм ³	Не обнаружено
фосфаты, мг/дм ³	8,4-13,4

Таблица 2

Концентрация растворенного кислорода в секциях биофильтра при различных режимах аэрации

Место отбора проб (секция)	Концентрация растворенного кислорода, мг/дм ³	
	аэрация всех секций биофильтра	уменьшение аэрации в 3-й секции биофильтра
1-я	0,1-1,8	
2-я	1,3-2,3	
3-я	3,2-3,4	2,3-2,4
4-я	3,4-3,5	2,9-3,2
5-я	3,4-3,6	

Длительность процесса непрерывной биофильтрации сточных вод в ходе исследований составляла более 100 сут. На протяжении 93 сут эксперимента аэрация секций биофильтра была неизменной, в последующие сутки подача кислорода в 3-ю секцию биофильтра была уменьшена (табл. 2).

Очевидно, что невысокое содержание растворенного кислорода в 1-й и 2-й секциях было связано с его активным потреблением микроорганизмами для окисления органических веществ сточной воды, а также с его ограниченной растворимостью в загрязненной воде, поступающей на очистку в биофильтр.

В процессе непрерывной биофильтрации сточных вод удаление биогенных элементов (углерода, азота и фосфора) оценивалось по следующим параметрам: концентрации органических веществ по показателям химического потребления кислорода (ХПК) и биологического потребления кислорода (БПК), концентрации аммонийного азота, азота нитритов, азота нитратов и фосфатов. В экспериментах использовались стандартные методы определения вышеуказанных показателей.

Результаты и их обсуждение

Эффективность снижения органических веществ по ХПК независимо от изменения режимов аэрации достигала в среднем 96 %. Значения БПК очищенной воды составляли 0,2-0,6 мг/дм³. Согласно результатам эффективности снижения ХПК, более 84 % органических веществ удалялось уже в 1-й секции биофильтра. В результате активного развития биомассы поверхность загрузкиочного материала начальной секции биофильтра была подвержена наибольшему биообрастанию (рис. 2).

Динамика биотрансформации азота в процессе 100-суточной непрерывной биофильтрации сточной воды представлена на рис.3. По истечении 13-х сут от начала эксперимента эффективность удаления аммонийного азота в процессе биофильтрации достига-

Ключевые слова:

биофильтрация,
коммунально-
бытовые сточные
воды,
биогенные элементы,
нитрификация,
биологическая
дефосфотация

ла в среднем 97,2 %, а содержание азота нитритов и нитратов в очищенной воде не превышало 10 мг/дм³ (рис. 3). В процессе очистки сточной воды наблюдалось постепенное накопление азота нитратов в процессе нитрификации: после 1-й секции – до 1,2 мг/дм³; после 3-й секции – до 6,7 мг/дм³; после 5-й секции – до 9,8 мг/дм³. Было выявлено, что на начальном этапе экспериментальных исследований нитриты и нитраты были обнаружены в воде после 3-й и 5-й секции биофильтра, однако по истечении 56 сут непрерывной биофильтрации – после 1-й и 3-й секций, соответственно. Данный факт определен значительным накоплением к 56 сут непрерывного эксперимента гетеротрофных микроорганизмов в 1-й секции реактора, более быстрым исчерпанием органического субстрата и, как следствие, смещением зон развития нитрифицирующего микробиоценоза в начальные секции биофильтра.

Кинетика концентрации различных форм азота в ходе эксперимента свидетельствует об ассимиляции аммонийного азота для клеточного роста, протекании нитрификации и, возможно, денитрификации. Возможность протекания денитрификации в условиях аэрируемого фильтра подтверждается ранее проведенными экспериментальными исследованиями периодического культивирования образцов биопленки из различных секций биофильтра в анаэробических условиях [6]. Кроме того, на завершающем этапе настоящих экспериментальных исследований была осуществлена рециркуляция части потока очищенной сточной воды в 1-ю секцию биофильтра. Объем рециркулирующего потока составлял 25 % от объема поступающей воды. Анализ кинетики нитратов свидетельствовал о снижении концентрации азота нитратов в воде в 1-й секции биофильтра с 1,5 мг/дм³ до 0,3 мг/дм³, что подтверждает протекание процесса денитрификации в начальной секции аэрируемого биофильтра. В процессе экспериментальных исследований наблюдалось снижение концентрации фосфатов в сточной воде (рис. 4).

На протяжении 93 сут эксперимента концентрация фосфатов имела тенденцию к снижению при прохождении сточной воды от секции к секции биофильтра. Эффективность удаления фосфатов в процессе биофильтрации отмечалась выше 27,4 %, но не превышала 82,1 %. При этом основной вклад в удаление фосфора вносил микробиоценоз 1-й секции, после прохождения которой концентрация фосфатов уменьшалась в среднем на 6,2 мг/дм³. Согласно литературным данным к фосфорнакапливающим микроорганизмам

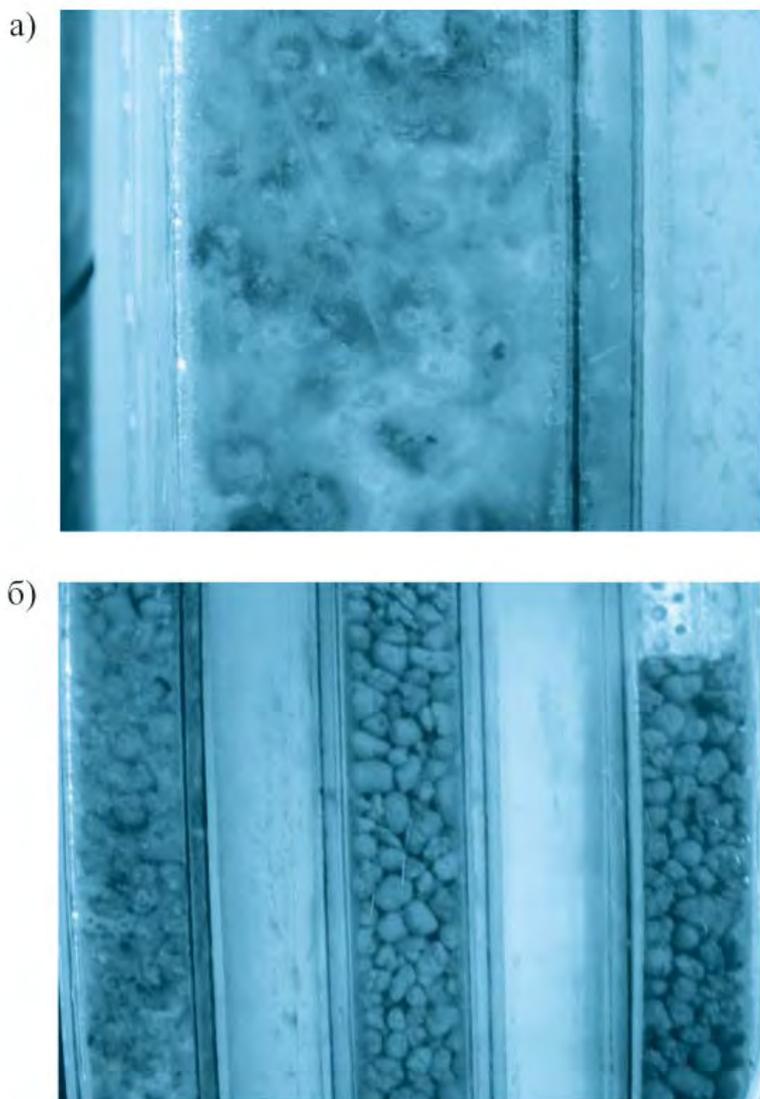


Рис. 2. Внешний вид биофильтра: а) биообрастание керамзита в 1-й секции; б) биообрастание керамзита в 1-й, 3-й и 5-й секциях биофильтра.

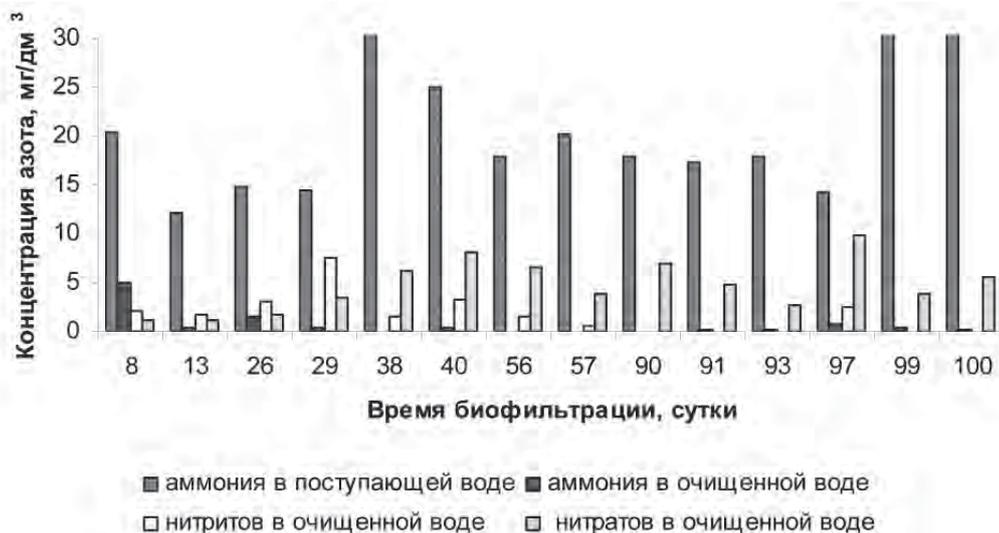


Рис. 3. Кинетика концентрации азота в процессе биофильтрации сточной воды.

относятся широко распространенные в составе микробных агрегатов очистных сооружений бактерии родов *Pseudomonas*, *Aerobacter*, *Beggiatoa*, *E.coli*, *Aeromonas*, *Zoogloea ramigera*, а также реже встречающиеся бактерии родов *Klebsiella*, *Enterobacter*, *Moraxella*, *Mycobacterium* и многие другие. Кроме того, установлено, что нитрифицирующие бактерии также способны накапливать полифосфаты в составе метакроминовых гранул [4]. Поэтому следует предположить, что высокая биологическая активность гетеротрофных микроорганизмов, доступность органического субстрата, а также наличие в аэрируемой секции биофильтра аэробных и анаэробных микрозон вследствие неоднородности распределения концентраций кислорода в фильтрующем слое способствовали протеканию процесса биологической дефосфатации.

На основании описываемых различными авторами технологических схем дефосфатации в аэротенках предполагалось, что снижение концентрации кислорода в 3-й секции биофильтра приведет к образованию анаэробных микрозон в средней части реактора, создав тем самым условия для стрессирования биомассы в анаэробных условиях с последующим более эффективным поглощением фосфатов в финальной аэрируемой секции биофильтра [1-5]. В процессе экспериментальных исследований было выявлено, что снижение концентрации растворенного кислорода в 3-й секции биофильтра в среднем на 1 мг/дм³ привело, как и ожидалось, к повышению концентрации фосфатов в 4-й секции биофильтра (рис. 5).

Однако последующего значимого снижения концентрации фосфатов в 5-й аэрируемой секции биофильтра не наблюдалось, что,

вероятно, связано с развитием на заключительных этапах биофильтрации главным образом нитрифицирующей, медленно растущей микрофлоры [8].

Заключение

Оценка экспериментальных данных процесса очистки коммунально-бытового стока в секционированном биофильтре свидетельствует о высокой эффективности удаления соединений углерода, азота и фосфора. Эффективность очистки по ХПК –

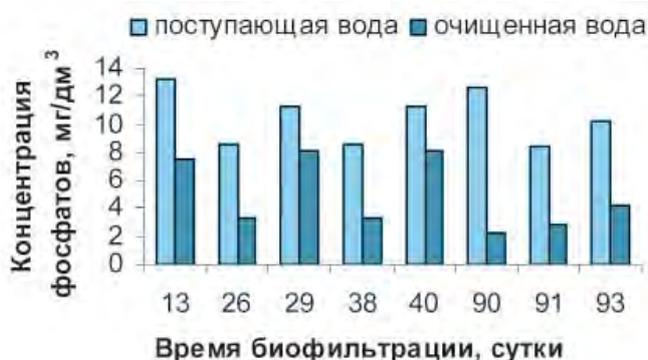


Рис. 4. Кинетика концентрации фосфатов в процессе биофильтрации сточной воды.



Рис. 5. Кинетика концентрации фосфатов в процессе биофильтрации сточной воды при различных режимах аэрации.



до 98 %, по аммонийному азоту – до 99,9 %, по фосфатам – до 82,1 %.

На основании анализа полученных результатов следует сделать вывод о предпочтении аэробных условий биофильтрации без создания дополнительных анаэробных (аноксических) условий в отдельных секциях биофильтра, поскольку в объеме загрузки аэрируемого биофильтра граничат аэробные и анакисические зоны, которые создают возможность протекания разнообразных процессов, в том числе нитрификации, денитрификации и дефосфотации.

Литература

1. Баженов В.И. Проектирование современных комплексов биологической очистки сточных вод / В.И. Баженов, А.А. Денисов // Экология и промышленность России. 2009. № 2. С. 26-31.
2. Мишуков Б. Г. Удаление азота и фосфора на очистных сооружениях городской канализации / Б.Г. Мишуков, Е.А. Соловьева //

Приложение к журналу «Вода и экология. Проблемы и решения». СПб.: ЗАО «Водопроект-Гипрокоммунводоканал», 2004. 72 с.

3. Мишуков Б. Г. Технологии и схемы биологического удаления азота и фосфора из городских сточных вод / Б.Г. Мишуков, Е.А. Соловьева, М.П. Попов // Вода: технология. 2007. № 1. С. 15-20.

4. Жмур Н.С. Технологические процессы очистки сточных вод на сооружениях с аэротенками. М.: АКВАРОС, 2003. 512 с.

5. Хенце М. Очистка сточных вод: Пер. с англ./ Хенце М., Армоэс П., Ля-Кур-янсен Й., Арван Э. М.: Мир, 2004. 480 с.

6. Кирилина Т.В. Исследование сообществ азоттрансформирующих микроорганизмов в процессах биофильтрации сточных вод / Т.В. Кирилина, Л.И. Сейтвапова, А.С. Сироткин, Г.И. Шагинурова // Журнал Экологии и промышленной безопасности (Вестник Татарстанского отделения Российской Экологической Академии). Казань. 2009. № 3-4(43-44). С. 55-58.

7. Huber, S.G. Einfluß der Prozeßführung auf Menge und Zusammensetzung von Protein und Polysacchariden im Ablauf von Sequencing-Batch Reactoren // Berichte aus Wassergüte und Abfallwirtschaft Techn. Univer. München. 1999. Nr. 159. 129 S.

8. Кирилина Т.В. Анализ пространственного распределения микроорганизмов в биофильтре для удаления органических веществ и аммонийного азота / Т.В. Кирилина, Л.И. Сейтвапова, А.С. Сироткин, Г.И. Шагинурова // Материалы Московской международной научно-практической конференции. М.: ЗАО «Экспо-биохим-технологии», РХТУ им. Д.И. Менделеева, 2010. С. 71-72

T.V. Kirillina, A.S. Sirotkin, L.I. Seytvarova, Chan Tkhai Kha, On Nguen Khay Kuin'

DOMESTIC WASTEWATER BIOFILTRATION FOR NITROGEN AND PHOSPHOR DEEP REMOVAL

Results of the biofiltration process for domestic wastewater purification from carbon, nitrogen and phosphorous compounds are discussed. During experimental studies nitrogen biotransformation regularities

have been investigated. Possibility of denitrification and dephosphorization processes in aerating section reactor with attached biomass has been estimated.

Key words: biofiltration, domestic wastewater, biogenic substances, nitrification, biological removal of phosphor