

УДАЛЕНИЕ АЗОТА И ФОСФОРА НА ОЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЯХ ГОРОДСКОЙ КАНАЛИЗАЦИИ

Введение. Современный уровень развития науки и техники в области технологий отведения и очистки сточных вод характеризуется изменением приоритетов и целей. На первый план выдвинулись проблемы эвтрофикации поверхностных водоемов и технологии глубокого удаления биогенных элементов (преимущественно соединений азота и фосфора).

Более строгие требования, установленные для качества очищенных сточных вод, стимулируют изучение и необходимость более широкого применения процессов биологической денитрификации и дефосфатирования. Однако отсутствие общепринятых нормативных документов по проектированию, строительству и эксплуатации сооружений с технологией биологического удаления соединений азота и фосфора (технология «Денифо») является весьма существенным фактором, сдерживающим ее широкое практическое применение.

При этом необходимо отметить, что, несмотря на то, что процессы биологической и химической денитрификации и дефосфатирования известны давно, широкомащтабная технологическая и конструктивная их реализация началась совсем недавно, 20–25 лет тому назад, преимущественно в скандинавских странах [1]. В России, Беларуси и других странах СНГ эти методы находятся в стадии опытно-производственного освоения и изучения, в первую очередь на крупных очистных сооружениях путем реконструкции существующих коридорных аэротенков.

Основная часть. Согласно действующему ТКП 45-4.01-202-2010 «Очистные сооружения сточных вод» [2], очистка сточных вод ориентирована, прежде всего, на загрязнения органического характера (БПК) и взвешенные вещества. В данном документе биогенные элементы (соединения азота и фосфора) являются не загрязнителями, а необходимыми элементами для обеспечения нормальной жизнедеятельности микроорганизмов активного ила. Для этого соотношение БПК:N:P на входе в блок биологической очистки сточных вод должно быть в пределах 100:5:1, и в соответствии с требованиями ТКП следует предусматривать добавки биогенных элементов в аэротенки.

Однако соединения азота и фосфора, в избытке попадая в поверхностные водоемы, вызывают бурный прирост водорослей, приводят к резкому снижению растворенного кислорода в водоеме, угнетению жизни рыб и так называемому «цветению воды». Такие водоемы не пригодны для купания и забора воды для питьевых целей.

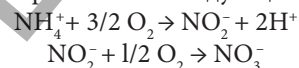
Современные требования в технологии очистки сточных вод заставляют считать биогенные элементы загрязнителями сточных вод. В настоящее время для глубокой очистки сточных вод требуются новейшие

методы и исследования, так как действующие очистные сооружения не предназначены для глубокого удаления соединений азота и фосфора.

Сущность биологического метода удаления азота состоит в трансформации азота из связанного в газообразное состояние при помощи микроорганизмов активного ила.

Обычно в городских сточных водах содержится 20–50 мг/л соединений азота, в основном в виде аммиака или производных аммония (NH_4 и NH_3), и таких органических веществ, которые в процессе обработки легко превращаются в аммоний.

Процесс биологической трансформации азота протекает в две стадии. Первая стадия заключается в превращении соединений азота аммонийных солей в нитриты, а затем в нитраты. Данный процесс называется нитрификацией и протекает по следующему уравнению:



Процесс нитрификации осуществляется группами бактерий хемоавтотрофов: Nitrosomonas (рис. 1) и Nitrobacter. В активном иле их количество колеблется в пределах до 10% от общей биомассы.

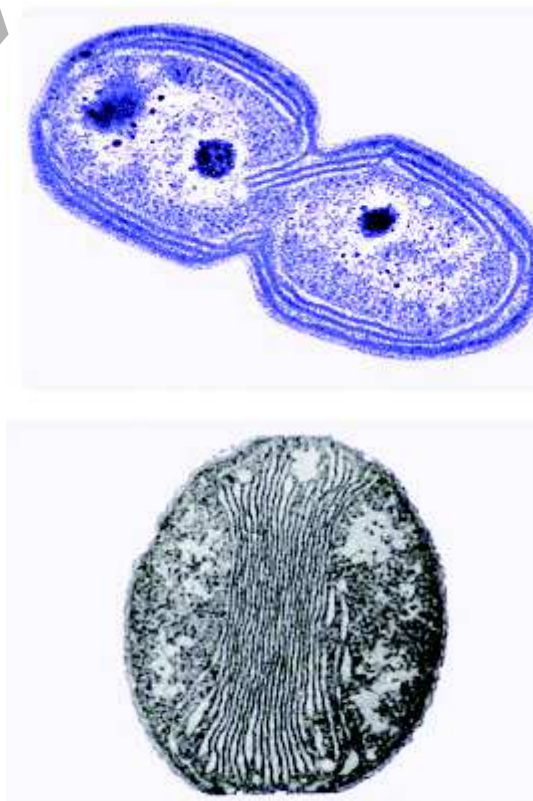


Рисунок 1. Бактерии Nitrosomonasi Nitrobacter

Волкова Галина Александровна, к.т.н., доцент, доцент кафедры водоснабжения, водоотведения и охраны водных ресурсов Брестского государственного технического университета.

Сторожук Наталья Юрьевна, ст. преподаватель кафедры водоснабжения, водоотведения и охраны водных ресурсов Брестского государственного технического университета.

Беларусь, БрГТУ, 224017, г. Брест, ул. Московская, 267.

На процесс нитрификации оказывают влияние следующие факторы: температура, pH , щелочность, концентрация питательного субстрата, концентрация растворенного кислорода, характеристики активного ила, ингибиторы нитрификации.

Контроль за содержанием нитрифицирующих бактерий в активном иле осуществляется по возрасту ила. Автотрофные нитрификаторы размножаются значительно медленнее, чем преобладающие по численности гетеротрофные микроорганизмы. Вывод из системы избыточного ила, содержащего определенное количество автотрофов — нитрификаторов, может вызвать обеднение их сообщества. Поэтому возраст ила выбирают исходя из условий сохранения и накопления нитрифицирующих бактерий. Оптимальное значение возраста ила не менее 6–9 суток.

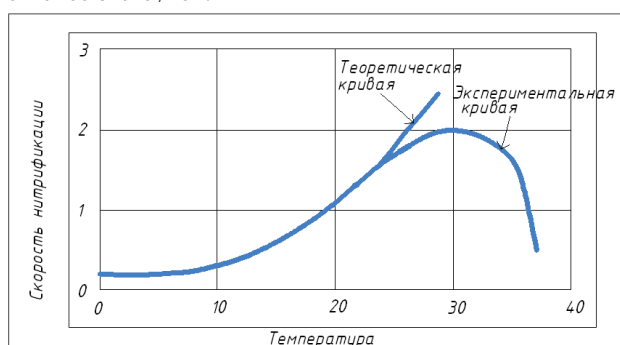


Рисунок 2. Зависимость скорости нитрификации от температуры

Как видно из рисунка 2, оптимальный диапазон температуры находится в интервале от 25 до 35°C. Нитрифицирующие бактерии особенно чувствительны к резким изменениям температуры.

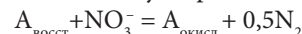
На скорость нитрификации большое влияние оказывает концентрация растворенного кислорода. Оптимальное значение растворенного кислорода для эффективного протекания нитрификации находится в диапазоне 2–4 мг/л. Концентрация растворенного кислорода выше 4 мг/л не влияет на скорость нитрификации, содержание растворенного кислорода менее 1 мг/л является лимитирующим и существенно замедляет процесс нитрификации.

К ингибиторам нитрификации (замедляющим либо прекращающим процесс) относят тяжелые металлы, СПАВ, фенолы, амины. Нитрификация в реакторе с активным илом может ингибироваться целым рядом веществ. Поскольку реакторы нитрификации устроены таким образом, чтобы в них при заданной температуре происходил только этот процесс, то даже весьма незначительное ингибирование может его полностью остановить.

В процессе второй стадии трансформации азота, азот нитратный превращается в соединения газообразного азота и удаляется в атмосферу. Данный процесс называется денитрификацией.

Процесс денитрификации протекает без присутствия свободного кислорода и связан со способностью некоторых микроорганизмов в процессе своей жизнедеятельности использовать связанный кислород из нитратов (нитратное дыхание активного ила). Условия протекания денитрификации называют аноксидными.

Восстановление азота до газообразных форм требует наличие энергетического субстрата:



В качестве субстрата может быть использован метанол, различные кислоты низшего ряда либо внутренний источник углерода в неочищенной сточной воде (ее легкоокисляемой части).

В активном иле преобладают бактерии группы *Pseudomonas*, из общей массы ила способны использовать для дыхания кислородосодержащие соединения азота 70–80% микроорганизмов. Постоянное повторение цикла содержания ила в аноксидных условиях приводит к накоплению и укреплению сообщества денитрифицирующих микроорганизмов.

На рост гетеротрофных денитрифицирующих микроорганизмов оказывает влияние количество усваиваемых органических веществ и обеспеченность нитратным азотом. Аммонийный азот в городских сточных водах находится в избыточном количестве и существенно не воздействует на процесс денитрификации. Денитрификация ингибируется в присутствии растворенного кислорода.

Скорость денитрификации зависит от температуры, кроме того, на скорость влияет и карбонатная щелочность, ограничения по этому параметру снимаются, если в технологической схеме используется анаэробная зона с кислым брожением органических примесей сточных вод. Влияние растворенного в воде кислорода рассматривают в сочетании с концентрацией органических веществ, используя значение окислительно-восстановительного потенциала (минус 100–200 мВ), концентрацию растворенного кислорода в зоне денитрификации следует снижать до минимального уровня. Ингибиторами денитрификации являются те же вещества, что и для нитрификации.

В неочищенной сточной воде фосфор содержится в виде ортофосфатов; полифосфатов; фосфора органического растворенного; фосфора органического взвешенного; фосфора общего.

В отличие от азота, который может выводиться из системы в газообразном состоянии при денитрификации, фосфор распределяется между илом и очищенной водой. Биологическое, не связанное с применением реагентов удаление фосфора заключается только в выводе его в составе избыточного активного ила. С увеличением массы избыточного ила возрастает масса удаляемого фосфора, но это входит в противоречие с накоплением в иле нитрифицирующих бактерий в результате вывода их вместе с приростом ила. Поэтому для увеличения вывода фосфора необходимо увеличить его содержание в клеточном веществе бактерий. Клетки обычного ила в аэротенках содержат 1,5–2% фосфора, следовательно, в 28–32 г избыточного ила содержится 0,4–0,6 г фосфора. Если количество фосфора в иле удастся увеличить, будет снижаться его концентрация в очищенной воде.

Некоторые микроорганизмы природного биоценоза способны накапливать фосфор (фосфор аккумулирующие бактерии (ФАБ) или Р-бактерии). Избыточное количество фосфора в клетке, большее, чем потребность для размножения бактерий, наблюдается при чередовании анаэробных и аэробных (аноксидных) условий при перемещении ила.

В анаэробных условиях, когда в иловой смеси нет растворенного химически связанного кислорода (в форме нитритов и нитратов), микроорганизмы активного ила приспосабливаются к экстремальным условиям, включая в систему дыхания процессы трансформации фосфора. Бактерии выводят фосфор в виде ортофосфатов и продуцируют низшие кислоты жирного ряда (это характерно для кислого брожения органических веществ загрязнений в сточных водах в анаэробных условиях).

В аэробных условиях микроорганизмы активно поглощают и накапливают фосфаты в виде полифосфатов. Таким образом, чередование анаэробных и аэробных условий вызывает миграцию фосфора из клеток в воду и обратно (рис. 3). Если из системы выводить ил в момент наибольшего поглощения фосфора (конец аэробной зоны), то можно удалить его из системы, не нарушая баланс природы и вывода биомассы нитрифицирующих бактерий.

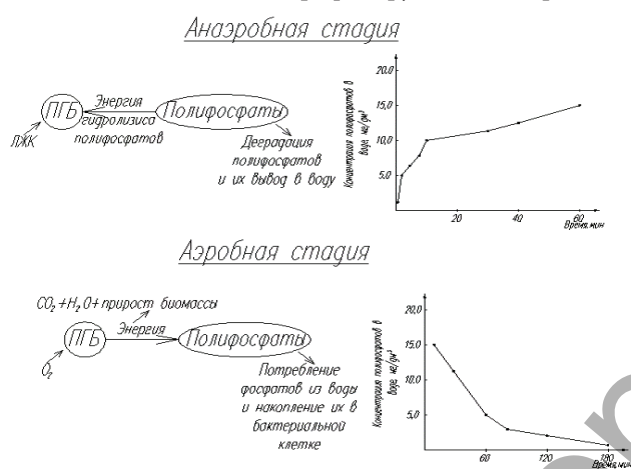


Рисунок 3. Метаболизм фосфат-аккумулирующих организмов в анаэробных и аэробных условиях

Накопление полифосфатов в активном иле зависит от состава примесей в сточных водах, интенсивности перемешивания иловой смеси, способности микроорганизмов, находящихся в иловой смеси, адаптироваться к анаэробным условиям.

Технология биологического удаления биогенных элементов получила название «Денифо» и основана на сочетании анаэробно-аноксидно-оксидных условий обработки смеси активного ила и очищаемой сточной воды.

Удаление азота и удаление фосфора взаимосвязаны. Глубокое удаление азота, возможное при снижении нагрузки на ил, снижает прирост ила и способствует вытеснению фосфора из клеток. С другой стороны, повышение нагрузки на ил интенсифицирует удаление фосфора. В настоящее время известен уже не один десяток технологических схем и методик расчетов по удалению биогенных элементов из сточных вод. Однако непосредственное применение западных методик без пилотных исследований приведет к большим погрешностям в расчете сооружений. Данный факт связан, прежде всего, с более концентрированным стоком, поступающим на очистные сооружения в странах Западной Европы по сравнению со странами СНГ. Существует и значительная разница в конечном результате тех или иных методик, т. к. предельно-допустимая концентрация (ПДК) загрязнений в очищенных стоках различных государств также различна.

Существуют три метода удаления биогенных элементов:

- биологический;
- физико-химический (реагентный);
- комбинированный.

Доказана эффективность биологического метода удаления азота и фосфора из сточных вод, который и является наиболее эффективным.

Однако сложность и недостаточная изученность данного метода требует исследования различных технологических схем на пилотной установке и реальной сточной жидкости.

До сих пор отсутствует общепринятая классификация и терминология в описании технологических систем и конструкций сооружений для биологического удаления азота и фосфора. С определенной долей условности их можно подразделить на следующие группы:

1. Сооружения с прикрепленной микрофлорой (био-пленкой):

- орошаемые биофильтры;
- дисковые (барabanные) биофильтры;
- аэрируемые биофильтры;
- сооружения с использованием взвешенной загрузки.

2. Сооружения со взвешенной микрофлорой (активным илом):

— биореакторы последовательно-периодического действия;

- аэротенки «карусельного» типа периодического или непрерывного действия с внутренней циркуляцией (Вью-Бешит) и симультанная денитрификация;
- многостадийные Анаэробно-Аноксидно-Оксидные (А/А/О) процессы с внутренней и внешней циркуляцией (УСТ, JHVi другие процессы) [4].

В сооружениях первой группы могут успешно решаться вопросы удаления органических веществ путем реализации процессов нитри-иденитрификации. Однако ввиду ограничения их применимости производительности и сложности удаления фосфора, эти сооружения не получили широкого распространения.

При использовании реакторов периодического действия процессы нитриденитрификации и отстаивания протекают последовательно в одном и том же сооружении. Такие сооружения получили определенное распространение для очистки небольших объемов сточных вод. К их преимуществам относится чувствительность к неравномерности поступления сточных вод, возможность наладки технологических процессов путем изменения продолжительности рабочих циклов в зависимости от расхода и концентрации загрязнений сточных вод, отсутствие циркуляционных потоков и специальных отстойных сооружений. К недостаткам биореакторов последовательно-периодического действия относится необходимость устройства усреднителя расхода для непрерывности поступления стоков на очистные сооружения, сложность автоматизации технологических операций, неполное протекание процессов денитрификации и невозможность реализации полного биологического дефосфатирования.

Симультанная денитрификация реализуется в сооружениях с внутренней циркуляцией в циркуляционно-окислительных каналах (ЦОК) с механической аэрацией. Существенным недостатком сооружений является неустойчивость процессов нитриденитрификации при значитель-

ной неравномерности притока сточных вод. При недостатке органических веществ (минимальном притоке сточных вод) в объеме сооружения будет наблюдаться повышенное содержание растворенного кислорода и преобладающим процессом станет нитрификация, в часы максимального притока преимущественно будет происходить денитрификация.

Во всех вышерассмотренных технологических схемах и сооружениях не предусмотрена реализация технологии биологического удаления фосфора.

Необходимо отметить сложность и недостаточную изученность процессов биологического удаления фосфора. В литературе имеется весьма ограниченная информация для практического применения при проектировании таких сооружений. Эта проблема еще в большей мере усложняется в связи с тем, что в подавляющем большинстве случаев необходимо решать вопросы дефосфатирования в сочетании с процессами нитриденитрификации. При этом, как правило, из-за наличия во внутренних и внешних циркуляционных потоках иловой смеси нитратов и растворенного кислорода, трудно обеспечить оптимальное сочетание аноксидных и анаэробных зон, в которых протекают процессы денитрификации и дефосфатирования. Эти процессы являются конкурирующими в отношении потребления легкоразлагаемого органического вещества. В большинстве случаев в качестве такого вещества используются органическое вещество поступающих сточных вод и (или) вещества, образующиеся в анаэробной зоне в процессе гидролиза, продуцирующего из загрязнений сточных вод легкоразлагаемые летучие жирные кислоты (ЛЖК). При очистке разбавленных сточных вод с низким содержанием легкоокисляемой органики рекомендуется подача в анаэробную зону сточных вод без первичного отстаивания или осветленных сточных вод, содержащих продукты ацидофикации (сбраживания) сырого осадка [1, 3, 5, 6].

Заключение. Биологические методы очистки сточных вод являются наиболее экологически безопасными и дешевыми методами очистки сточных вод.

На сегодняшний день в технологии очистки сточных вод вышли такие вопросы, как удаление биогенных элементов из сточных вод для предотвращения эвтрофикации поверхностных водоемов.

Внедрение технологических схем с глубоким удалением азота и фосфора имеет следующие преимущества:

- достижение высоких требований к качеству очищенных сточных вод и улучшение экологической обстановки поверхностных источников;
- сокращение потребления электроэнергии за счет уменьшения количества подаваемого воздуха на пневматическую аэрацию (в аноксидных и анаэробных зонах);
- уменьшение прироста активного ила и, как следствие, снижение затрат на перекачку и утилизацию избыточного активного ила.

СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ:

1. Хенце, М. Очистка сточных вод: пер. с англ./ М. Хенце [и др.] – МЛ: Мир, 2004. – 480 с.
2. Очистные сооружения сточных вод. Строительные нормы проектирования: ТКП 45-4.01-202-2010 (02250).
3. Мишуков, Б.Г. Удаление азота и фосфора на очистных сооружениях городской канализации / Б.Г. Мишуков, Е.А. Соловьева // Прилож. к ж. «Вода и экология: проблемы и решения». 2004. – 72 с.
4. Справочник по современным технологиям очистки природных и сточных вод и оборудованию. Отдел по Датскому сотрудничеству в области окружающей среды в Восточной Европе в сотрудничестве с Министерством природных ресурсов РФ и Федеральным экологическим фондом РФ, 2001. – 254 с.
5. Яковлев, С.В. Биохимические процессы в очистке сточных вод / С.В. Яковлев, Т.А. Карюхина – М.: Стройиздат, 1980. – 200 с.
6. Канализация населенных мест и промышленных предприятий; под ред. В.Н. Самохина. – 2-е изд. – М.: Стройиздат, 1981. – 639 с.

Материал поступил в редакцию 31.05.17

VOLKOV G.A., STOROZHUK N.Y. Removal of nitrogen and phosphorus on wastewater treatment plants, city sewer

In the article the questions of removal from wastewater nitrogen and phosphorus at municipal wastewater treatment plants. Bibl. 6 the name.

УДК 054.666

Н.В. Левчук, М.В. Василевская, Е.И. Шляхова

ИССЛЕДОВАНИЕ АДСОРБЦИОННЫХ СВОЙСТВ БАЗАЛЬТОВОЙ ФИБРЫ

Введение. Широкий спектр применения в различных отраслях промышленности базальтового волокна обусловлен целым рядом преимуществ перед другими типами волокон. Наиболее важными с точки зрения

строительной отрасли является их относительно высокая удельная прочность на разрыв, высокая коррозионная и химическая стойкость к воздействию агрессивных сред растворов солей, кислот.

Левчук Наталья Владимировна, к.т.н., доцент, доцент кафедры инженерной экологии и химии Брестского государственного технического университета.

Василевская Марина Витальевна, магистр химических наук, соискатель кафедры технологии бетона и строительных материалов Брестского государственного технического университета.

Шляхова Екатерина Ивановна, магистр технических наук, аспирант кафедры технологии бетона и строительных материалов Брестского государственного технического университета.

Беларусь, БрГТУ, 224017, г. Брест, ул. Московская, 267