

Процесс денитрификации В БИОЛОГИЧЕСКОЙ ОЧИСТКЕ СТОЧНЫХ ВОД

И МЕТОДИКИ РАСЧЕТА

Статья посвящена методу денитрификации сточных вод, расчету сооружений денитрификации двумя распространенными методами (расчетными параметрами служили исходные концентрации взвешенных веществ, БПК, аммонийного азота, нитритов и нитратов в поступающей воде и при выходе КОС г. Тула).

Введение

Проблема очистки сточных вод от биогенных элементов (соединений углерода, азота, фосфора) актуальна в наше время. Биогенные вещества, содержащиеся в сточных водах, при поступлении в поверхностные водоемы наносят значительный ущерб экологической системе любого региона. Высокий уровень загрязнения российских водоемов биогенными элементами не позволяет рассчитывать на процессы самоочищения, поэтому при утверждении проектов вновь строящихся очистных сооружений и на действующих станциях очистки к сбрасываемым сточным водам предъявляются требования, как правило, на уровне ПДК водоемов. Большинство действующих в России сооружений очистки городских стоков основано на применении традиционной биотехнологии, дающей низкий эффект очистки от фосфатов (до 20–30 %) и не обеспечивающей эффективного удаления нитратов, образующихся в ходе нитрификации, т.е. при окислении аммонийного азота в нитриты и нитраты по реакциям:



поэтому на многих очистных станциях, в том числе и канализационных очистных сооружениях (КОС) г. Тула, российские нормативы

Е.П. Боровых*,
аспирант,
Тульский
государственный
университет



вы сброса азота и фосфора не выполняются (на выходе КОС г. Тула сточная вода имеет содержание БПК $L_{\text{ex}} = 13,4$ мг/л, содержание взвешенных веществ $C_{\text{ex}} = 13$ мг/л, содержание кислорода $\text{O}_2 = 7,1$ мг/л).

Биологическая очистка сточных вод - один из самых распространенных способов обезвреживания сточных вод при подготовке их к спуску в водоемы, основанный на микробных (под воздействием микробов) процессах распада и минерализации органических веществ по аналогичной схеме.

Роль процесса денитрификации

Значительные концентрации соединений азота при сбросе сточных вод в водоемы-приемники способствуют эвтрофикации (усилению развития водорослей), могут быть токсичными для людей и оказывают вредное воздействие на водную среду, в частности, поверхностные источники, что делает

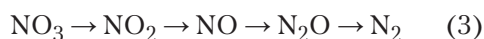
* Адрес для корреспонденции: borovyh@inbox.ru

не возможным забор воды для питьевых нужд. Восстановление нитритов и нитратов протекает наиболее эффективно в процессе денитрификации сточных вод активным илом. Денитрифицирующие бактерии встречаются среди представителей родов *Acrobacterium sp.* и др. [1, 2], которые, находясь в бескислородных условиях, используют для дыхания кислород, содержащийся в нитритах и нитратах вместо растворенного кислорода. Бактерии-денитрификаторы являются гетеротрофами и представляют группу факультативных анаэробов.

Тот факт, что они присутствуют в сточных водах в большом количестве и могут использовать загрязненные вещества в качестве углеродного питания, значительно облегчает эксплуатацию сооружений, так как исключает необходимость выращивания специальной адаптированной микрофлоры [3].

Результаты и их обсуждение

Восстановление нитратов до азота представляет собой многоступенчатый процесс, протекающий по схеме:



В зависимости от pH среды конечными продуктами могут быть либо NO, либо N₂O, либо N₂. Так, по данным [3] при pH < 7,3 наиболее вероятно образование N₂O. Значение pH 7,5÷8,5 обеспечивает течение процесса денитрификации до N₂ [4]. Помимо pH на активность денитрификации влияют следующие факторы: источник органического углерода и его концентрация, содержание нитратов, концентрация кислорода, температура воды, присутствие токсичных веществ и др.

В зависимости от того, в каких сооружениях осуществляются процессы нитрификации и денитрификации, различают одно-, двух- и трехстадийные схемы.

При одностадийной схеме устраивают аэротенки с продленной аэрацией, одна секция в которых выделяется для восстановления азота нитратов до газообразного азота (рис. 1 а). Кроме таких аэротенков при одностадийной схеме возможно устройство контактного стабилизатора, также разделенного на зоны (рис. 1 б); в одной из них происходит окисление аммонийного азота до азота нитритов и нитратов, в другой - восстановление нитратов. По одностадийной схеме работает Монасская станция (г. Бостон, США). Режим работы аэротенка установлен из расчета снижения концентрации азота в очищенных

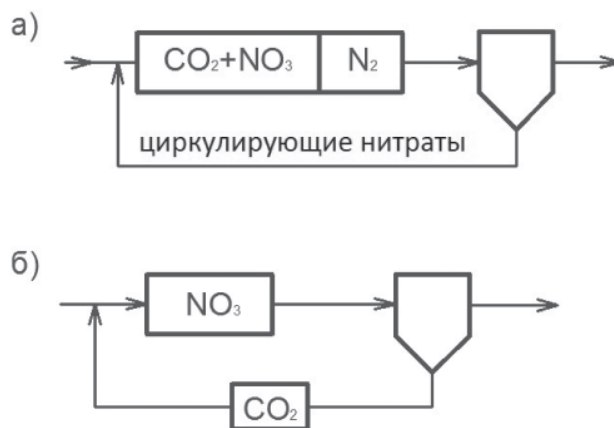


Рис. 1. Одностадийная схема денитрификации.

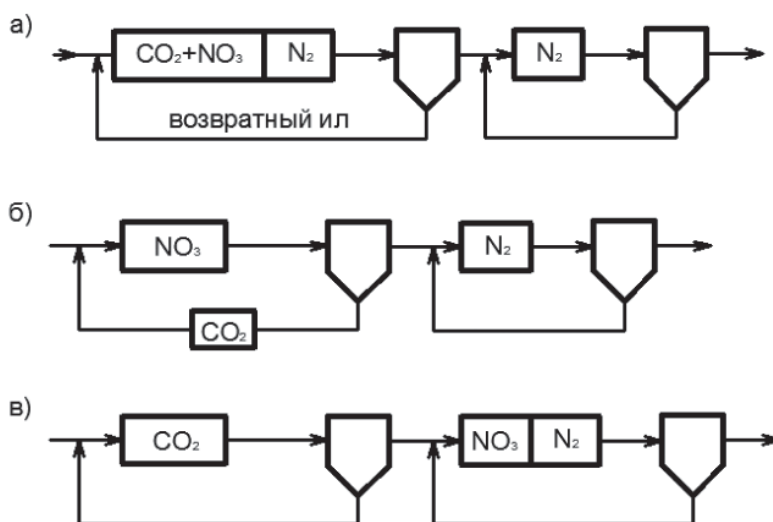


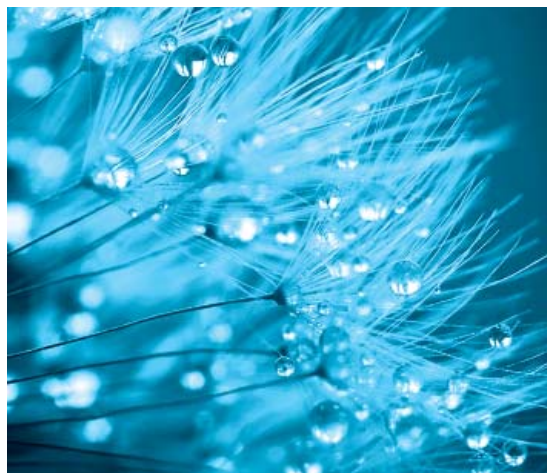
Рис. 2. Двухстадийная схема денитрификации.

сточных водах на 75 % (при обычном методе аэрации снижение концентрации азота в аэротенке составляет 20-50 %). Первая стадия полуаэробного окисления осуществляется в первой секции аэротенка (без подачи воздуха) при минимальной концентрации растворенного кислорода. Окислителем является кислород нитратов очищенных вод, подаваемых в первую секцию из вторичных отстойников. Во второй секции аэротенка окислительный процесс происходит при аэрации. При этом за счет кислорода воздуха завершается процесс нитрификации.

При двухстадийной схеме возможны следующие варианты: аэротенки с продленной аэрацией и изолированным денитрификатором (рис. 2 а); контактный стабилизатор с изолированным денитрификатором (рис. 2 б); обычный аэротенк и смеситель, которые представляют собой комбинированное сооружение, разделенное на зоны нитрификации и денитрификации (рис. 2).

Трехстадийная обработка требует наибольших капитальных вложений, однако имеет неоспоримые преимущества по надежности,

стабильности и простоте действия. Кроме того, эта схема обеспечивает последовательность реакций превращения азотистых соединений в газообразный азот, лучшее удаление углерода, высокую степень нитрификации и денитрификации, что обусловлено использованием изолированной иловой культуры. Удаление углерода с одновременной нитрификацией (рис. 1 а и 2 а) требует длительного времени аэрации для нитрификации, что в свою очередь приводит к увеличению объема сооружений. Говоря о преимуществах трехстадийной схемы обработки сточных вод, следует отметить, что не исчерпаны и недостаточно глубоко изучены возможности одно- и двухстадийных схем. Как указывалось выше, для процессов денитрификации могут быть использованы резервуары с перемешиванием, а также колонны с насадками из гравийных зерен диаметром 2,5 см или частиц гравия диаметром 2-4 мм. Фильтры-денитрификаторы можно применять в схемах, представленных на рис. 3 (варианты II и III). Кроме того, на некоторых очистных сооружениях фильтры-денитрификаторы устанавливают непосредственно после вторичных отстойников (рис. 2 а). Фильтры-денитрификаторы идеально приспособлены для формирования биопленки, заселенной денитрифицирующей микрофлорой,



для них характерен малый вынос взвешенных веществ, отсутствует необходимость в рециркуляции сточных вод и активного ила, требуется меньшая продолжительность пребывания сточных вод в сооружении. Из-за большого размера сооружений все время ведется поиск методики интенсификации процессов удаления биогенных элементов, приводящей к уменьшению размеров сооружений для процессов нитрификации-денитрификации и, как следствие, уменьшению капитальных затрат и затрат на обслуживание.

Произведены расчеты сооружений денитрификации на примере данных за 2010 г. канализационных очистных сооружений г. Тула по известным методам:

- ◆ методика ВНИИ ВОДГЕО;
- ◆ методика Санкт-Петербургского государственного архитектурно-строительного университета (СПбГАСУ) и выполнено их сравнение.

Сточные воды поступают на очистные сооружения со среднесуточным расходом:

- $Q_{\text{ср.сут.}} = 210$ тыс. м³/сут;
- концентрация по БПК $L_{\text{ен}} = 219$ мг/л;
- концентрация взвешенных веществ $C_{\text{ен}} = 157,9$ мг/л;
- содержание аммонийного азота 14,6 мг/л;
- нитриты менее 0,02 мг/л;
- нитраты 0,571 мг/л.

Расчет денитрификатора по методике ВНИИ ВОДГЕО

В качестве сооружений денитрификации применяются аэротенки-вытеснители.

В качестве источника углерода в сточные воды искусственно добавляют органические вещества (метанол, этанол и др.) или исходную сточную воду из расчета 3÷6 мг БПК на мг нитратов.

Аэротенк имеет размеры:

- ◆ длина $L=84$ м;
- ◆ ширина коридора $B=9$ м;

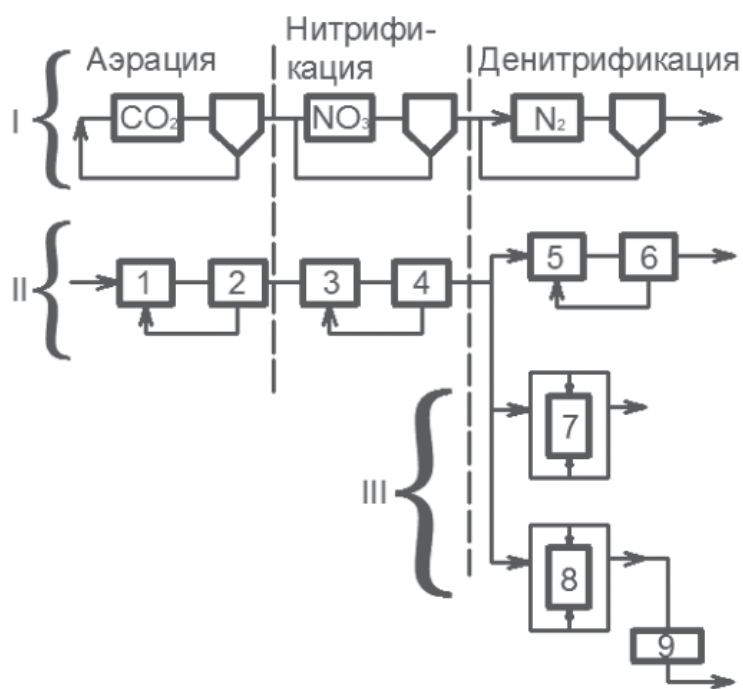


Рис. 3. Трехстадийная схема денитрификации (I-III - номера вариантов)

1 - аэротенк; 2 - отстойник; 3 - нитрификатор; 4 - отстойник после нитрификатора; 5 - денитрификатор открытый; 6 - отстойник после денитрификатора; 7 - денитрификаторы с мелкозернистой загрузкой; 8 - денитрификаторы с крупнозернистой загрузкой; 9 - песчаный фильтр.

Таблица 1

Расчетные параметры денитрификатора по методике ВНИИ ВОДГЕО

	Расчетные параметры	Размерность	Значение
1	Удельная скорость денитрификации	мг/(г*ч)	8,57
2	Продолжительность пребывания в аэротенке-вытеснителе	ч	2,2
3	Требуемый объем аэротенка	м ³	60480
4	Требуемое число секций для КОС	шт	4
5	Дополнительная камера отдувки для азота		
5.1	Объем	м ³	8750
5.2	Размеры А × В × Н	м	84 × 21 × 5
5.3	Количество сжатого воздуха	м ³	9725

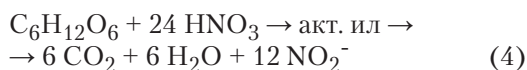
• рабочая глубина Н=5м;

• имеет 4 секции, 4 коридора.

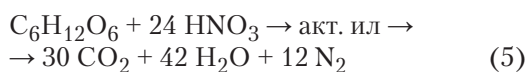
Применительно к исходным данным КОС г. Тула основные расчетные параметры представлены в табл. 1.

Расчет денитрификатора по методике Санкт-Петербургского государственного архитектурно-строительного университета (СПбГАСУ).

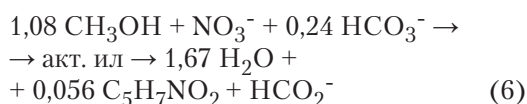
В денитрификатор подается исходная сточная вода и циркулирующий активный ил. Эти микроорганизмы с помощью глюкозы и метанола, содержащихся в поступающей сточной воде, вступают в реакцию денитрификации.



Согласно реакции (4) денитрификация протекает до образования нитритов. Дальнейший процесс сопровождается образованием свободного азота.



Внесение органических веществ, в частности, метанола обеспечивается развитие денитрификаторов в составе активного ила:



Реакции (4)-(6) протекают при нагрузке на ил 0,15-0,2 г/кг-сут, возраст 9-10 сут, оптимальная температура 14 °С.

Объем денитрификатора от всего объема аэротенка составляет 40 %.

Расчетные параметры даны в табл. 2.

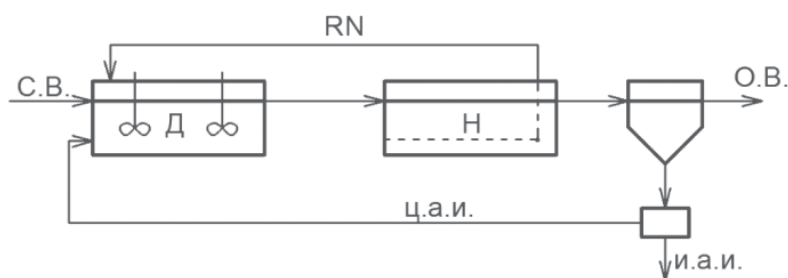


Рис. 4. Схема процесса денитрификации.

С.В. – сточная вода; О.В. – очищенная вода; Д – денитрификатор; Н – нитрификатор; и.а.и. – избыточный активный ил; ц.а.и. – циркулирующий активный ил; RN – циркулирующие нитраты.

Таблица 2

Расчетные параметры денитрификатора по методике СПбГАСУ

	Расчетные параметры	Размерность	Значение
1	Продолжительность денитрификации	ч	3,53
2	Прирост активного ила	кг/сут	0,11
3	Удельный прирост активного ила	кг/кг	0,502
4	Нагрузка на ил	кг/кг	0,199
5	Объем аэротенка	м ³	60480
6	Объем денитрификатора	м ³	24192
7	Объем типовой секции на КОС г. Тула	м ³	15120
8	Требуемое число секций денитрификации	шт	2

Заключение

Как видно из результатов вычислений, время пребывания в денитрификаторе по результатам расчета по методике СПбГАСУ составляет 3,53 ч, в то время, как по методике ВНИИ ВОДГЕО - 2,2 ч. При этом количество секций аэротенка также различно: по методике СПбГАСУ 2 секции, по методике ВНИИ ВОДГЕО 4 секции.

Встает выбор между продолжительностью процесса и размерами сооружений, где данный процесс протекает. Это, в свою очередь, ведет к сравнению капитальных затрат на строительство и впоследствии эксплуатационных затрат.

Литература

1. Голубовская Э.К. Биологические основы очистки сточных вод. М.: Высшая школа, 1978. 186 с.

Ключевые слова:

анионообменная
мембрана,
катионообменная
мембрана,
перенос,
электролиз,
сульфат натрия

2. Painter H.A. A review of literature on inorganic nitrogen metabolism in microorganism. // Water Res. 1970. N 4. P. 393-450.
3. Яковлев С.В. Биохимические процессы в очистке сточных вод / С.В. Яковлев, Т.А. Карюкин. М.: Стройиздат, 1980. 135 с.
4. Hashimoto S. Crowh Kinetic Studies on Organic Oxidation and Nitrification by Activated Sludge / Hashimoto S., Furukawa K. // J. Ferment. Tecno. 1982. V. 60, N 6. P. 537-544.
5. Справочное пособие к СНиП 2.04.03-85 «Проектирование сооружений для очистки сточных вод». М.: Стройиздат 1990. 192 с.
6. Лихачев Н.И. Справочник проектировщика. Канализация населенных мест и промышленных предприятий/ Н.И. Лихачев, И.И. Ларин, С.А. Хаскин и др. Под ред. В.Н. Самохина. 2-е изд., переработанное и дополненное. М.:Стройиздат, 1981. 639 с.



E.P. Borovykh

DENITRIFICATION IN BIOLOGICAL WASTE WATER TREATMENT

Method of wastewater denitrification and calculation of denitrification buildings by two

conventional methods have been presented

Key words: bioremediation, denitrification