

Биотехнологии на страже экосистемы

Снижение концентрации азота и фосфора в сточных водах достигается за счет нитриденитрификации и биологической дефосфотации. Теоретический анализ и экспериментальные исследования на ЮЗОС выявили особенности процессов очистки, при которых совместное влияние этих технологий дает наилучший результат.

С экологической точки зрения, городские сточные воды — один из основных источников загрязнения водных экосистем. Они содержат органические вещества и массу биогенных элементов (азот и фосфор), при попадании которых в водные экосистемы происходит интенсивное антропогенное эвтрофирование. Поэтому, если до начала 1990-х гг. достаточно было удалить взвешенные вещества и органические примеси и провести обеззараживание воды, то в настоящее время системы биологической очистки сточных вод должны обеспечивать также удаление биогенных элементов. Данное положение было закреплено в Постановлении Хельсинской комиссии (ХЕЛКОМ), в котором Россия и другие страны Балтийского региона взяли на себя обязательства по сокращению сброса соединений азота и фосфора [1].

Применяемые в настоящее время системы и принципы очистки сточных вод весьма разнообразны, и среди них едва ли не самое значительное место отведено биологическим методам. Для очистки городских сточных вод применяется биологическая очистка в системе «аэротенк — вторичный отстойник». Со времени первых успешных результатов очистки сточных вод активным илом, полученных Ардерну и Локкетом в 1913–1914 гг., предложено много различных технологических решений.

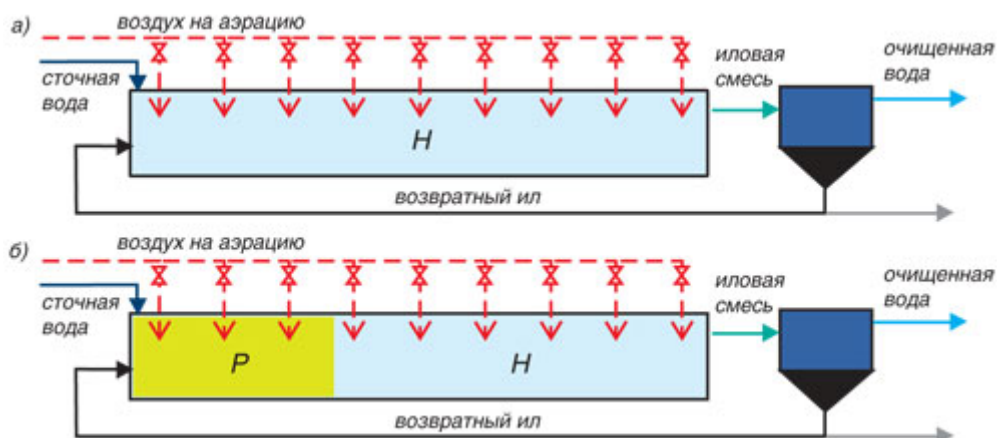


Рис. 1. Принципиальные схемы традиционной биологической очистки в системе «аэротенк — вторичный отстойник»:

- а) без отдельной регенерации активного ила; б) с отдельной регенерацией активного ила.

Условные обозначения: Р — регенератор, Н — зона нитрификации.

Из всего многообразия можно выделить две принципиальные схемы традиционной (аэробной) биологической очистки (рис. 1). В традиционной системе биологической очистки азот и фосфор удаляются, в основном, за счет их включения в биомассу гетеротрофных бактерий. Достижимый при этом эффект очистки — невелик.

Эффективную очистку от азота дает технология нитриденитрификации (НД), которая в настоящее время достаточно широко применяется в России. Из практики биологической очистки сточных вод известны два наиболее эффективных варианта реализации процесса нитриденитрификации (рис. 2): схема с предшествующей нитрификацией (рис. 2 а) и схема с предшествующей денитрификацией и нитратной рециркуляцией иловой смеси (рис. 2 б). Эта биотехнология требует поддержания в аэротенке достаточно высокого возраста активного ила, необходимого для развития нитрифицирующих бактерий. В свою очередь, для удаления из стоков фосфора наилучшие результаты дает технология биологической дефосфотации (БДФ). Она позволяет достигать остаточной концентрации фосфатов в очищенной сточной воде на уровне ПДК для водоемов рыбохозяйственной категории водопользования. Для реализации технологии БДФ в системе биологической очистки создаются условия, когда активный ил поочередно проходит анаэробную и аэробную зоны, что стимулирует развитие в нем фосфорных бактерий, относящихся к факультативным анаэробам.

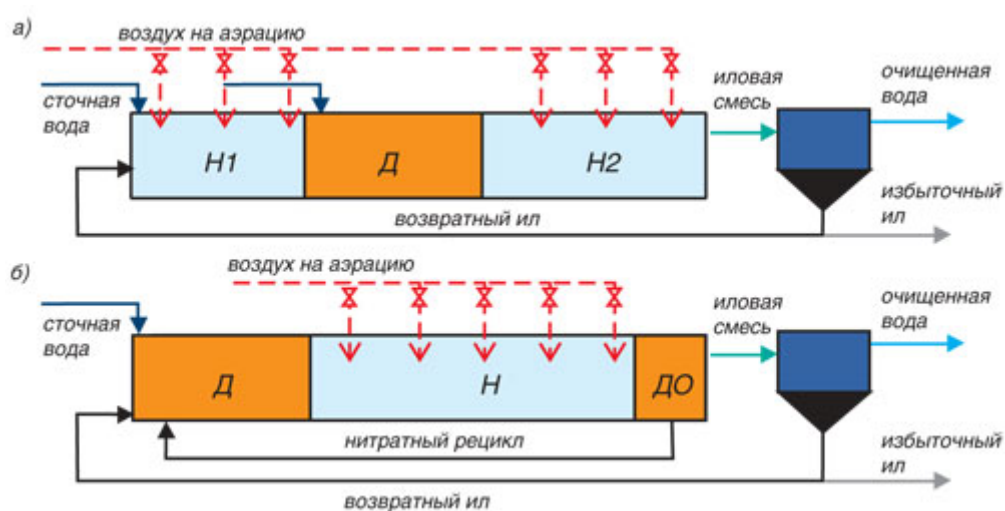


Рис. 2. Схемы реализации технологии нитриденитрификации:

- а) с предшествующей нитрификацией;
- б) с предшествующей денитрификацией и нитратной рециркуляцией иловой смеси (modified Ludzack-Ettinger process).

Условные обозначения: Н — зона нитрификации (аэробные условия: есть нитраты и растворенный кислород); Д — зона денитрификации (аноксидные условия: есть нитраты, растворенного кислорода нет); ДО — деоксидная зона

Большое влияние на ход процесса оказывает концентрация нитратов, поэтому анаэробная зона дефосфотации, как правило, должна быть установлена после аноксидной зоны, в которой протекает процесс денитрификации. Кроме того, для эффективной биологической очистки от фосфора по технологии БДФ очень важно соблюдать условие наличия достаточного количества легко окисляемых органических веществ в исходной сточной воде, поступающей в анаэробную зону [2]. Данное условие особенно актуально для России, где в основном принято совместное канализование сточных вод, и городские сточные воды весьма разбавлены.

Основные технологические схемы реализации данных технологий приведены на рис. 3.

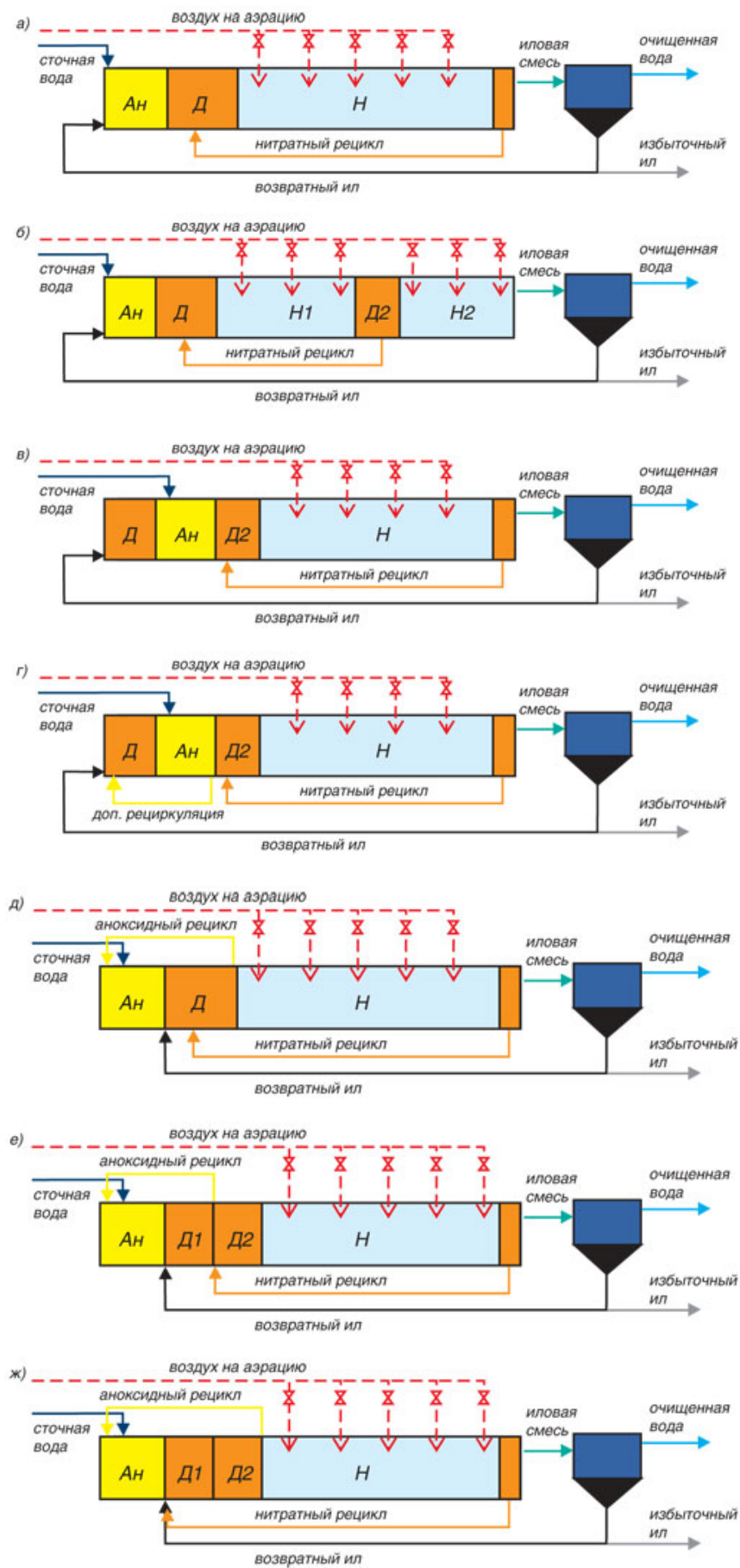


Рис. 3. Технологические схемы реализации технологий нитриденитрификации и биологической дефосфотации:

- а) А2/О — процесс (anaerobic/anoxic/oxic);
- б) 5-ти — зонный процесс Барденфо (Bardenpho);
- в) Йоханесбургский (или JHB) процесс (Johannesburgprocess);
- г) модифицированный Йоханесбургский процесс (modified JHB);
- д) технология Кейптаунского университета или процесс UCT (UniversityofCapeTown);
- е) модифицированный UCT процесс (modified UCT);
- ж) VIP процесс (Virginia Initiative Process).

Условные обозначения: Ан — анаэробная зона (нитратов и растворенного кислорода нет)

Процессы А2/О (рис. 3 а) и Bardenpho (рис. 3 б) имеют существенные недостатки. В первую анаэробную зону подается возвратный ил, в котором содержится нитратный азот, т. е., по существу, в начале зоны создаются не анаэробные, а аноксидные условия, что, безусловно, ограничивает эффективность процесса биологической дефосфотации. Процесс Bardenpho улучшает процесс А2/О введением еще одной аноксидной зоны, благодаря чему уменьшается количество нитратного азота в возвратном иле, а следовательно, и нагрузка по нитратам на анаэробную зону. Однако, хотя и в меньшей мере, недостаток процесса А2/О присущ процессу Bardenpho.

Йоханесбургский процесс (рис. 3 в, г) несколько менее эффективен, чем модифицированный UCT процесс, однако при этом он значительно проще в управлении.

Наибольшее распространение за рубежом для одновременного удаления органических веществ, соединений азота и фосфора находят процессы VIP и UCT (рис. 3 д, ж). Процессы VIP и UCT очень похожи. Подача нитратного рецикла и возвратного ила в них предусматривается в аноксидную зону, с выхода которой аноксидным рециклом иловая смесь перекачивается на вход анаэробной зоны. Естественно, что в аноксидном рецикле нельзя допускать присутствия нитратов.

В данных схемах имеет место противоречие: при необходимости увеличения очистки по нитратам следует увеличить и коэффициент нитратной рециркуляции, как следствие этого — увеличение нагрузки на аноксидную зону и рост концентрации нитратного азота в конце аноксидной зоны и аноксидном рецикле. В итоге — поступление нитратов в анаэробную зону и лимитирование процесса дефосфотации. Поэтому для правильного управления данными технологиями необходимо вводить сложный алгоритм управления внутренними рециклами.

Указанное противоречие устранено в модифицированном UCT процессе (рис. 3 е). Первая аноксидная зона удаляет нитраты только возвратного ила, и с выхода зоны осуществляется аноксидная рециркуляция. Основное удаление нитратов происходит во второй аноксидной зоне. В данном случае описанное противоречие снимается: чем выше коэффициент нитратной рециркуляции, тем эффективнее очистка от нитратного азота, меньше нитратов в возвратном иле и меньше нитратов в аноксидном рецикле.

Следует отметить, что модифицированный UCT процесс является наиболее перспективным с точки зрения эффективности удаления биогенов. Отечественный опыт использования БДФ очень ограничен, закономерности процесса изучены недостаточно. Поскольку технология НД при низком возрасте не работает, то важной задачей является выявление значений возраста активного ила, при котором совместное применение технологий НД и БДФ дает наилучший результат. С этой целью нами были выполнены теоретический анализ и экспериментальные исследования влияния возраста активного ила на процесс БДФ [3]. Полученные экспериментальные данные говорят о том, что оптимальное значение возраста, где скорость образования ацетата и эффективность удаления фосфора достигают наибольших значений, лежат в диапазоне 6–11 сут. Этот диапазон соответствует и наибольшей эффективности технологии НД, что подтверждает

целесообразность совмещения этих биотехнологий для эффективной очистки от азота и фосфора. Как следует из результатов исследований, применение технологии БДФ при возрасте менее 4–5 сут. (в условиях отсутствия нитрификации) малоэффективно.

Самыми современными сооружениями в России, на которых реализованы технологии глубокой биологической очистки от органических веществ, азота и фосфора, являются Юго-Западные очистные сооружения (ЮЗОС). В дополнение к технологии VIP глубокого биологического удаления биогенов на ЮЗОС применяется химическое осаждение фосфора в первичных отстойниках. Также реагент дозируется в баки смешения осадка для устранения высвобождения фосфатов при смешивании сырого осадка и избыточного ила.

Сточные воды очищаются в соответствии с новыми стандартами, установленными ХЕЛКОМ (15.11.2007 г., Краков, Польша): БПК₅ = 15 мг/л, снижение на 80%; общий фосфор = 0,5 мг/л, снижение на 90%; общий азот = 10 мг/л, снижение на 70–80%.

Внутренний стандарт качества очищенной воды по общему азоту ГУП «Водоканал Санкт-Петербурга» еще ниже: 8 мг/л. Качество очищенной воды по азоту и фосфору на ЮЗОС за период 2005–2010 гг. показано на рис. 4 и 5.

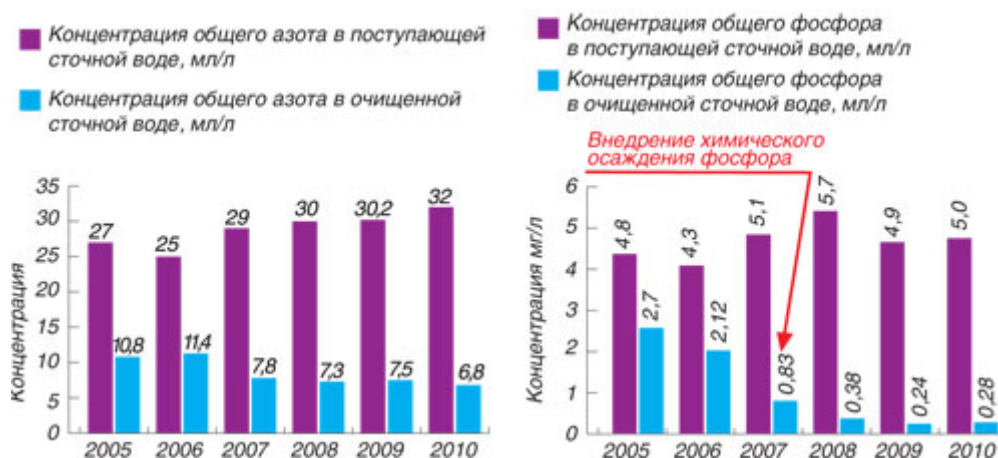


Рис. 4. Концентрация общего азота на входе и выходе ЮЗОС, 2005–2010 гг.
Рис. 5. Концентрация общего фосфора на входе и выходе ЮЗОС, 2005–2010 гг.

Пример ЮЗОС демонстрирует возможность использования зарубежных биотехнологий НД и БДФ в России для стабильного обеспечения высокого качества городских сточных вод по азоту и фосфору.

Литература

1. Нормативы ХЕЛКОМ от 15.11.2007 г., Краков, Польша.
2. Хенце М. «Биологическая очистка сточных вод». — М.: Изд. «Мир», 2004 г.
3. Большаков Н. Ю. «Очистка от биогенных элементов на городских очистных сооружениях». — СПб.: Изд. Политехнического университета, 2010 г.