

Кинематика процессов аммонификации, нитрификации, денитрификации
Л.И.Дегтерева, Т.А.Шевченко, Харьковская национальная академия городского хозяйства, г. Харьков

Микроорганизмы в своей жизнедеятельности потребляют необходимые им вещества и энергию: водород (H), кислород (O), углерод (C), азот (N), фосфор (P), серу (S) и другие второстепенные элементы. Разные бактерии используют различные источники энергии:

- солнечную энергию используют фотосинтетические автотрофы (Autotrophy);

- органику в качестве питательного вещества используют гетеротрофы (Heterotrophy);

- неорганические соединения используют хемотрофы (Chemoautotroph).

Фотосинтетические автотрофы берут энергию от солнца. В процессе жизнедеятельности получают элементы H и O из H₂O; C из CO₂. Азот, фосфор, серу и т.д. получают из растворенных солей: NH₄⁺, NO₃³⁻, PO₄³⁻.

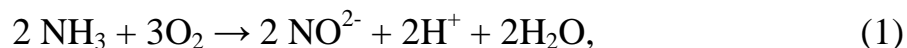
Автотрофы производят высоко энергичную органику (H, C, O) и кислород.

Гетеротрофы получают энергию из окисления органики, используют высокоэнергичную органику и формируют более сложную биомассу, включая протеины. Полученная энергия тратится на производство массы клеток, свободная энергия, потери на тепло.

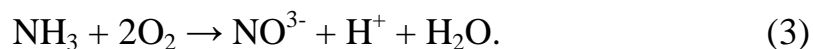
Когда органическая энергия заканчивается, то гетеротрофическая жизнь прекращается. При наличии таких микроорганизмов в сточных водах появляется пена на поверхности воды.

Хемотрофы получают энергию от окисления неорганики.

В процессе нитрификации окисляются аммонийные соединения нитрифицирующими бактериями (аэробами). Этот процесс происходит по следующим реакциям:

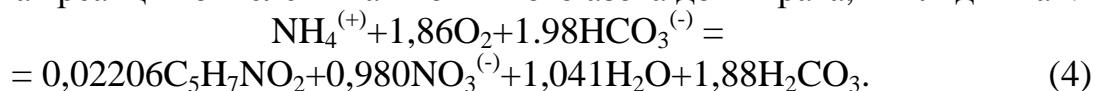


Итоговая реакция:



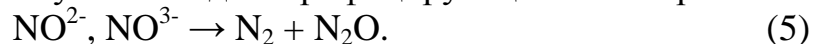
Отсюда легко подсчитать, что для окисления 1 г N, нужно потратить $\frac{4 \cdot 16}{14} = 4,57$ грамм O₂.

А полная реакция окисления аммонийного азота до нитрата, выглядит так:



Уравнение (4) получено в 1975 г. (U.S. Environmental Protection Agency).

Процесс превращения нитритов и нитратов в свободный газообразный азот производится в анаэробных условиях денитрифицирующими бактериями:



Система биологической очистки сточных вод состоит из следующих этапов:

1. Удаление взвешенных веществ, фекалий и других крупных отбросов.
2. Разложение растворенной органики (БПК) - аммонификация.

3. Окисление аммония до нитратов - нитрификация.
4. Превращение нитратов в газообразный азот - денитрификация.
5. Удаление фосфора - дефосфация.
6. Удаление CO_2 – декарбонизация.
7. Добавление O_2 – аэрация стоков.

Загрязнения сточных вод состоят из общего аммония + аммиак ($\text{NH}_4^+ + \text{NH}_3$), растворенного в воде, и азота, еще пока зафиксированного в органических веществах. Косвенно можно узнать, сколько в воде находится органических веществ, замерив БПК₅.

Основная задача аммонификации - удалить органику, т.е. БПК₅. Эту задачу выполняют - гетеротрофы, они развиваются быстрее хемотрофов (нитрифицирующих бактерий) и могут существовать в более большом диапазоне внешних факторов. Они являются конкурентами нитрифицирующих бактерий в биофильтре за жизненное пространство. Если БПК₅ (взвешенных частиц) не опустится ниже 15 мг/л, то процесс нитрификации будет невозможен из-за заселения биологического фильтра гетеротрофами. В биологическом фильтре они заселяют примерно 10-15% объема в начале фильтра.

Процесс аммонификации не потребляет щелочности воды, но может уменьшать рН воды в результате накопления CO_2 . Скорость аммонификации в основном зависит от температуры и содержания кислорода в воде. рН воды должна лежать в пределах от 5 до 9.

Бактерии очищают среду от органических загрязнений, но одновременно являются причиной возникновения неблагоприятной эпизоотической обстановки. Наибольшую опасность представляют аэромонады и энтеробактерии. При увеличении органического загрязнения, в структуре общего микробного фона их доля растет. Энтеробактерии входят в состав микробных ассоциаций, формирующихся в кишечном тракте гидробионтов, вырабатывают энтеротоксины и являются причиной их заболеваний и гибели. Поэтому на стадии аммонификации необходим контроль за бактериями.

На скорость нитрификации в биофильтре влияют следующие параметры воды: БПК, концентрация общего аммония (на единицу площади, на единицу объема), концентрация кислорода, гидравлическая нагрузка, температура, рН, щелочность воды, скорость роста хищников-бактерий.

В результате нитрификации уменьшается щелочность воды, которую нужно восстанавливать, иначе рН воды упадет до критической отметки.

Денитрификация аналогична нитрификации, как биологический процесс. В результате денитрификации конечный продукт нитрификации - нитрат превращается в газообразный азот. Этот процесс имеет место в бескислородной среде, и используется органическое вещество как источник углерода.

Обычно в странах Европы используют метанол как источник углерода, реже этанол. Часто еще используют метанол, если недостаточно в воде ХПК. Нитраты и ХПК (источник органического вещества) превращаются бактериями в новые бактерии, в газообразный азот, углекислый газ, воду и основание. Плюс от этого процесса в том, что уменьшается замена воды в системе в сутки.

Денитрифицирующие бактерии являются факультативными анаэробами, использующими в качестве акцепторов электронов кислород и нитраты. В результате этой реакции повышается рН воды и поглощается БПК (разрушается органическое вещество без использования кислорода), а значит экономится кислород. Если в технологической схеме используется денитрификатор, то могут возникнуть проблемы с удалением соединений фосфора из сточных вод.

Теория дефосфатации опирается на удаление фосфора путем синтеза биомассы бактерий в результате окисления БПК. Фосфор требуется для внутрисклеточной энергии переноса, это является основным клеточным компонентом. Поэтому фосфор необходим для биосинтеза. Обычно он содержится в биомассе микробов в концентрациях 1,5-2% от сухого веса.

Если сначала создать в схеме зону анаэробную, а потом аэробную, то в бактериях концентрация фосфора возрастет до 4-12%. Эту биомассу можно уже будет удалить при помощи фильтров механической очистки (отстойников или микросетчатых фильтров). В отходах будет содержаться в 2,5-4 раза больше фосфора, чем при обычной системе очистки.

Процесс биологической очистки сточных вод протекает в три основные стадии: аммонификация, нитрификация и денитрификация. Эти стадии в значительной степени зависят от температуры, содержания кислорода и рН среды обрабатываемых сточных вод, учет кинетики протекания которых позволяет повысить эффективность очистки сточных вод по основным показателям, а также по содержанию биогенных элементов (азота и фосфора).