

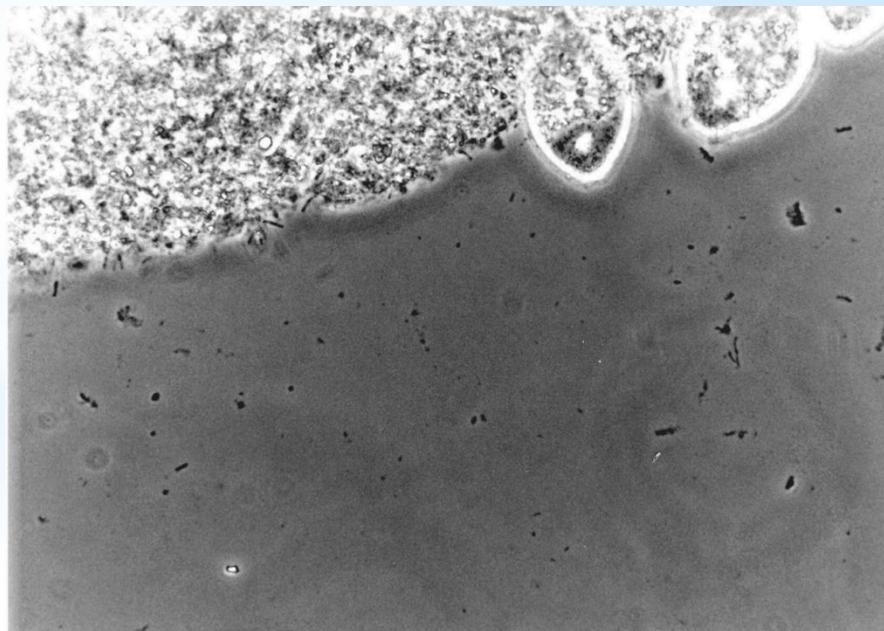
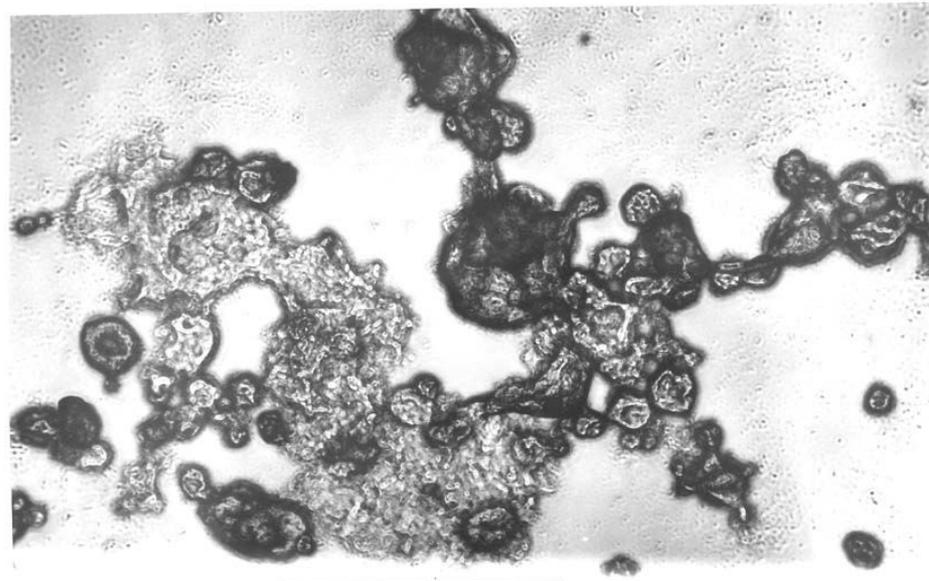
*Микробиологические
методы
очистки воды
Лекция 4*

Сущность способа биологической очистки сточных вод

Способ биологической очистки сточных вод получил широкое распространение в мировой и отечественной практике. Такое широкое распространение объясняется невысокой стоимостью очистки по сравнению с другими способами и с другой стороны достаточно высокой эффективностью.

Сущность способа биологической очистки состоит в контактировании сточной воды с микроорганизмами активного ила в анаэробных и аэробных условиях. В этой связи особого внимания заслуживает изучение состава активного ила.

При микроскопическом исследовании ила прежде всего обращают внимание на размер и плотность хлопка ила, наличие в нем посторонних включений, количество и видовой состав микрофауны, ее подвижность. Такое наблюдение позволяет сделать заключение о состоянии активного ила и качестве очистки.



Типичный состав активного ила БОС

1. эуглифа (раковинная амeba)
2. арцелла (раковинная амeba)
3. инфузория туфелька
4. бодо (жгутиковое)
5. амeba протей
6. **нитчатые бактерии**
7. сосущая инфузория
8. политома (жгутиковое)
9. коловратка нотоммата
10. хлопья активного ила
11. амeba дисководная
12. **зооглея (оленьи рога)**
13. аспидиска (брюхоресничная инфузория)
14. коловратка филодина
15. солнечник
16. эуплотес
17. аэлозома (малоресничный червь)
18. оперкулярия (колониальная инфузория)
19. циклидиум (инфузория)
20. сувойка
21. окситриха (брюхоресничная инфузория)
22. коловратка моностила
23. стилонихия (инфузория)
24. кархезиум (колониальная инфузория)
25. коловратка катипна
26. эпистилис (колониальная инфузория)
27. фабдоста (прикрепленная инфузория)
28. амeba террикола

Наиболее важные бактериальные организмы активного ила

Важным фактором, характеризующим эффективность функционирования активного ила в БОС является соотношение свободноплавающих бактерий и бактерий в скоплениях. В эффективно работающем активном иле преобладают зооглейные формы. Способность к созданию зооглейных скоплений широко распространена у микроорганизмов. Скопления образуют клетки азотобактера, радиобактера, клубеньковых бактерий. Некоторые виды образуют капсулы только при совместном культивировании с другими видами. Многие авторы отмечают высокую активность бактериальных скоплений.

Известно, что поверхность свободноплавающих бактерий вдвое больше, чем бактерий в скоплениях, и, несмотря на это, при большом количестве свободноплавающих бактерий очистка ухудшается. По-видимому, появление свободноплавающих бактерий является не причиной, а следствием ухудшения очистки.

К числу наиболее важных бактериальных организмов активного ила относятся:

- 1) *Zoogloea ramigera*. Род *Zoogloea* отнесен к семейству *Pseudomonadacea*,
- 2) Другие представители рода *Pseudomonas*,
- 3) Представители рода *Bacillus* ,
- 4) Представители рода *Corinebacterium* ,
- 5) Представители рода *Alcaligenes* .

Роль вида Zoogloea ramigera в очистке сточных вод

Наиболее характерным и часто встречающимся бактериальным организмом активного ила, образующим скопления, является *Zoogloea ramigera*. Род *Zoogloea* отнесен к семейству *Pseudomonadacea*.

Для семейства *Pseudomonadacea* в целом характерно следующее: палочки прямые или изогнутые, подвижные, имеют полярно расположенный жгутик, грамотрицательны, получают энергию по способу дыхания, молекулярный азот не усваивают, способны использовать в качестве источника углерода соединения, содержащие более одного углеродного атома, относятся к строгим аэробам, обладают каталазой и обычно оксидазами, растут в широком диапазоне температур от 4 до 43°C. Организмы рода *Zoogloea* всегда присутствуют в активном иле в виде скоплений. Именно этот признак и позволяет отличать их от других псевдомонад. Морфологически микроколонии *Zoogloea* состоят из отдельных, хорошо различимых палочек 0,5-1,0x2-4 мкм. Концы закругленные, каждая клетка окружена капсулой, вследствие чего клетки не слипаются.

Капсула представляет собой углеводный полимер, вероятно, содержащий азот (аминосахар). Капсульное вещество зооглей способно адсорбировать различные вещества, в том числе радиоактивные, и тем самым способствует очистке.

Капсульный полимер сорбирует также клетки хлопьеобразующих бактерий, которые участвуют в процессах деструкции загрязнений. Таким образом, *Z. ramigera* является стержнем, на котором собирается активный ил.

Из 54 штаммов бактерий, изолированных из активного ила аэротенка, только 5 культур могли формировать хлопья на жидкой питательной среде, три из них относились к *Z. ramigera*. Из 207 штаммов выделяется только 11 хлопьеобразующих, из них 9 – *Zoogloea*.

Роль вида Zoogloea ramigera в очистке сточных вод

Z. ramigera растет в широком диапазоне температур от 9 до 37°C opt - 28°C, pH=7, не растет в анаэробных условиях, но хорошо переносит их в течение 24 дней. Использует крахмал, инулин, некоторые первичные спирты, насыщенные жирные кислоты, промежуточные продукты цикла Кребса. Аспарагин, аспарагиновую кислоту и глутаминовую кислоту способна использовать в качестве единственного источника углерода и азота.

Клетки *Z. ramigera* способны накапливать длинные цепочки полифосфатов и тем самым помогают удалению из воды соединений фосфора.

Z. ramigera утилизирует фенол, крезол, бензол, толуол. Среда с толуолом предложена в качестве селективной для выделения

Элективные среды - специальные питательные среды, создающие более благоприятные условия для роста определённого вида микроорганизмов

В определителе Берги род *Zoogloea* содержит два основных вида: *Z. ramigera* и *Z. filipendula*. Последний вид отличается от первого наличием пальцеобразных выростов и несколько большей длиной клеток: средняя длина 4 мкм, а у *Z. ramigera* – 3 мкм.

Роль родов Pseudomonas и Bacillus в очистке сточных вод

При описании бактериального состава любых аэробных очистных сооружений непременно упоминаются псевдомонады. По-видимому, все существующие на Земле природные органические соединения могут разлагаться одним из видов *Pseudomonas*. При разрушении синтетических органических соединений первое место принадлежит также псевдомонадам.

Различные виды рода *Pseudomonas* способны вызывать превращение хлорорганических соединений, и в том числе пестицидов, восстанавливать нитрогруппу нитроароматических соединений с последующим разрывом бензольного кольца, использовать капролактамы в качестве единственного источника углерода и азота. Некоторые виды рода *Pseudomonas* способны разрушать серосодержащие соединения, в частности поверхностно-активные вещества (ПАВ) — соли сложных эфиров серной кислоты и алкилсульфонаты.

Широкие ферментативные возможности позволяют некоторым видам бактерий рода *Pseudomonas* использовать соединения, применяемые в качестве антисептиков, или дезинфектантов, такие как толуол, бензол, этилбензол, нафталин. Представители рода *Pseudomonas* разрушают каучук, резины, смазочные масла, усваивают газообразные углеводороды.

К активным деструкторам, часто встречающимся на очистных сооружениях, относятся представители рода *Bacillus*. Бактерии этого рода имеют палочковидную форму, спорообразующие, большинство видов подвижны, грамотрицательны, некоторые из них способны к хлопьеобразованию. *Bac. subtilis* и *Bac. mesentericus* относятся к наиболее активным деструкторам капролактама в гексаметилендиамина.

Другие бактериальные организмы активного ила

В деструкции трудноокисляемых соединений, в том числе углеводов, большую роль играют актиномицеты. У микобактерий и нокардий, родственных актиномицетам, отмечена способность к хлопьеобразованию.

По данным различных авторов, к числу доминирующих родов активного ила относятся также *Bacillus*, *Corinebacterium*, *Alcaligenes* и др. В активных илах сточных вод, содержащие флотореагенты (таловое масло, таловое мыло), были выделены *Aeromonas liguefaciens*, *Enterobacter liguefaciens*, *Micrococcus cremoris*, *Bacillus mycoides*, *Achromobacter agile*, *Escherichia coli*.

Нитчатые бактерии активного ила представлены *Sphaerotilus natans*. Относительно этого вида до сих пор нет единого мнения, является ли он и *Cladothrix dichotoma* синонимами или же они относятся к самостоятельным видам. Особенно хорошо они развиваются на углеводных стоках и сточных водах молочных заводов. Органотрофы получают энергию, окисляя сахара, некоторые органические кислоты и спирты в процессе дыхания; строгие аэробы. Двигутся при помощи пучка полярных жгутиков. Спор не образуют.

Для своего развития бактерии рода *Sphaerotilus* нуждаются в соединениях азота и лучше растут в присутствии органических источников азота. Попадая с иловой смесью во вторичный отстойник, *Sph. natans* препятствуют осаждению активного ила. В результате этого наблюдается так называемое «вспухание» активного ила. Ил выносится в водоем, вызывая вторичное загрязнение. За счет выноса снижается количество циркулирующего активного ила и доза ила в аэротенке падает. Для борьбы с развитием нитчатых бактерий в аэротенке применяют регенерацию активного ила, подщелачивание сточной жидкости до pH-9, соблюдают технологический режим.

Возможности утилизации синтетических органических веществ на БОС

Известно, что микроорганизмы, бактерии и грибы способны использовать практически любое органическое соединение естественного происхождения, но большей частью не готовы к использованию новых синтетических веществ, количество которых превышает уже два миллиона названий и продолжает активно расти.

Микроорганизмы осуществляют деструкцию неприродных соединений в различных процессах конструктивного и энергетического обмена: используя углерод, азот, серу, фосфор в качестве источников питания, окисляя соединения с получением энергии, используя только часть молекулы субстрата и т. д.

Понятия кометаболизма и «соокисления». **Кометаболизм** — способность микроорганизмов трансформировать органические соединения, не используя их. Кометаболизм, как правило, наблюдается на богатых питательных средах. Явление «**соокисления**» заключается в том, что микроорганизмы, не способные расти на среде, содержащей в качестве единственного источника углерода определенное органическое соединение, способны окислять его вместе с другими веществами. Многие трудноокисляемые соединения подвергаются деструкции в процессах кометаболизма и «соокисления». Так, например, нитрохлорорганические соединения могут использоваться только при наличии в среде питательных веществ, пригодных для активного роста микроорганизмов. В результате кометаболизма подвергаются деструкции многие аналоги ДДТ. Только явлениями кометаболизма, соокисления или аналогичности химических связей новых соединений и старых невозможно объяснить тот факт, что многие совершенно новые соединения со временем становятся доступными микроорганизмам. В процессе деструкции трудноокисляемых и токсичных соединений большую роль играют процессы изменчивости микроорганизмов как мутагенные (закрепляющиеся в строения ДНК клетки), так и адаптационные, утрачивающиеся при пересеве на среды, не содержащие агента, вызвавшего адаптацию.

Микробиологические методы очистки воды

Адаптационная и мутационная изменчивость микроорганизмов

Только явлениями кометаболизма, соокисления или аналогичности химических связей новых соединений и старых невозможно объяснить тот факт, что многие совершенно новые соединения со временем становятся доступными микроорганизмам. В процессе деструкции трудноокисляемых и токсичных соединений большую роль играют процессы изменчивости микроорганизмов как **мутагенные** (закрепляющиеся в строения ДНК клетки), так и **адаптационные**, утрачивающиеся при пересеве на среды, не содержащие агента, вызвавшего адаптацию.

Наряду с адаптационной изменчивостью среди микроорганизмов широко распространена мутационная изменчивость, при которой приобретенные новые качества закрепляются генетически и передаются потомству. Мутации могут быть естественные (спонтанные) и наведенные. В сточных водах часто содержатся вещества, являющиеся мутагенами. По этой причине среди микроорганизмов активных илов, очищающих промышленные сточные воды, присутствуют бактерии, отличающиеся по одному или нескольким признакам от соответствующего классического вида. Под влиянием мутагенов среди микроорганизмов могут возникать формы, ранее в природе не встречавшиеся. Весьма вероятно, что среди вновь возникших видов будут и активные деструкторы новых органических соединений.

Предложения по селекции мутантов для очистки сточных вод пока не получили реального применения и являются в основном перспективными, но селекция штаммов микроорганизмов, способных в результате адаптации к активной деструкции сложных органических соединений, в настоящее время ведется активно во всем мире и уже дает практические результаты.

Адаптация микроорганизмов активного ила к фенолам

Фенолы первыми среди органических соединений подверглись очистке специально селекционированными культурами бактерий. В незначительных количествах фенолы образуются в процессах жизнедеятельности как растительных, так и животных организмов, и потому они не могут рассматриваться среди синтетических органических соединений. Тем не менее монофенол — карболовая кислота — с трудом поддается бактериальной деструкции и с давних пор используется для дезинфекции. Дифенолы: пирокатехин, резорцин, гидрохинон — разлагаются значительно легче. Попадая в воду, фенолы придают ей неприятный запах, особенно усиливающийся при хлорировании. По этой причине ПДК фенолов в воде — 0,001 мг/л. Такая низкая предельно допустимая концентрация требует очень сильного разбавления для вод, содержащих фенолы. Микроорганизмы, способные разрушать фенолы, были выделены многими исследователями в разных странах, в том числе в России. Среди микроорганизмов отмечены бактерии разных видов, грибы, дрожжи, актиномицеты. Таким образом, способность к деструкции фенолов широко распространена среди микроорганизмов.

Наиболее активно разрушают фенолы представители родов *Pseudomonas*, *Achromobacter*, *Bacillus*. Фенольные стоки при этом нельзя разбавлять хозяйственно-бытовыми, так как в присутствии более доступных органических соединений бактерии пренебрегают фенолами.

Проведенные испытания показали, что адаптация микроорганизмов активного ила к фенолам происходит в течение достаточно длительного времени и в ряде случаев составляет до 3-4 месяцев.

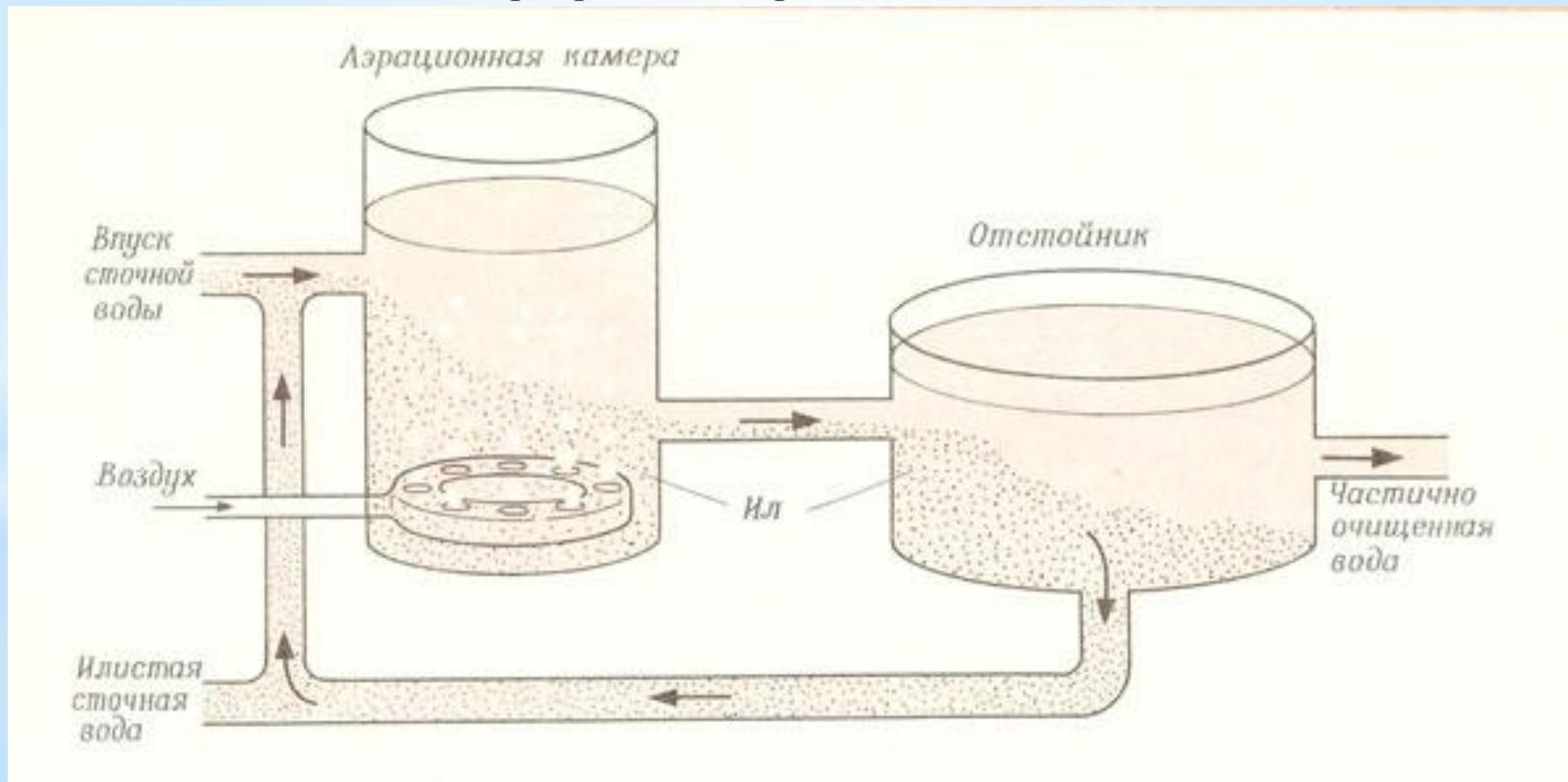
Адаптация микроорганизмов активного ила к ПАВам

Важное значение в практике биологической очистки имеет деструкция серусодержащих органических соединений, которые весьма разнообразны как по химическому составу, так и по своему назначению. К этой группе относятся лигносульфонаты и дурнопахнущие метилсернистые препараты, образующиеся при варке целлюлозы; лекарственные препараты, пестициды, поверхностно-активные вещества (ПАВ) и многие другие соединения. Среди серусодержащих синтетических органических соединений особое место занимает ПАВ, так как практически они полностью после использования попадают в водоемы и почву. Производство ПАВ во всем мире неуклонно растет и только в России превысило 500 тыс. т в год.

Резистентность многих ПАВ к микробному воздействию заставляет ограничить их применение. В России и других странах запрещено производство так называемых жестких, биологически трудно разрушаемых детергентов. Сравнительно легко разрушаются так называемые мягкие ПАВ, основу которых составляют алкилсульфаты, алкилсульфонаты и алкилбензолсульфонаты, имеющие формулу соответственно $R-SO_4Na$, $R-SO_3Na$ и $R(Ar)-SO_3Na$. Алкильная группа (R) может быть представлена неразветвленной или разветвленной углеводородной цепью, (Ar) — бензольное кольцо.

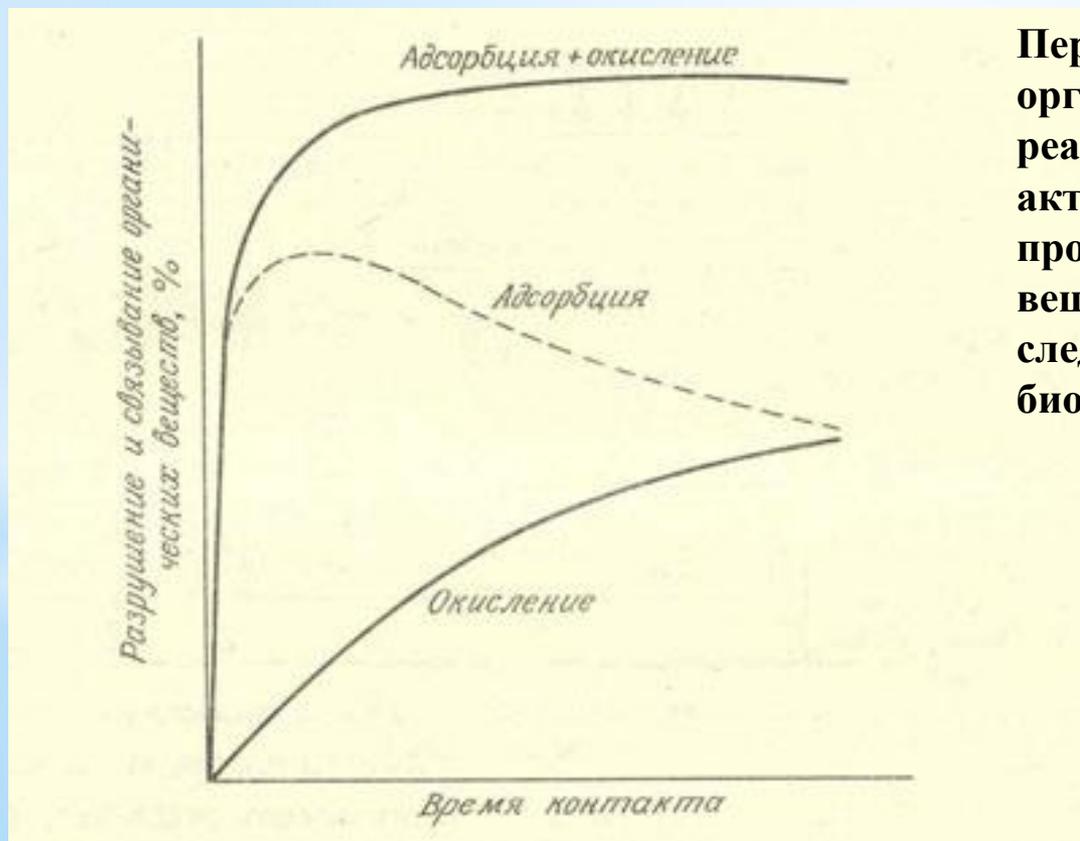
Процессы с участием активного ила

В процессах с участием активного ила основным типом оборудования является проточный аэрируемый биологический реактор. Как показано на рисунке, этот аэробный реактор (аэротенк) связан с отстойником, в котором вода осветляется. Часть ила, собирающегося в отстойнике, обычно вновь поступает в биологический реактор, в результате чего обеспечивается постоянная инокуляция илом. Рециркуляция увеличивает среднее время пребывания ила в системе, давая возможность присутствующим в нем микроорганизмам адаптироваться к имеющимся питательным веществам. Ил должен оставаться в аэробном биореакторе достаточно долго и для того, чтобы окислились все адсорбированные органические вещества.



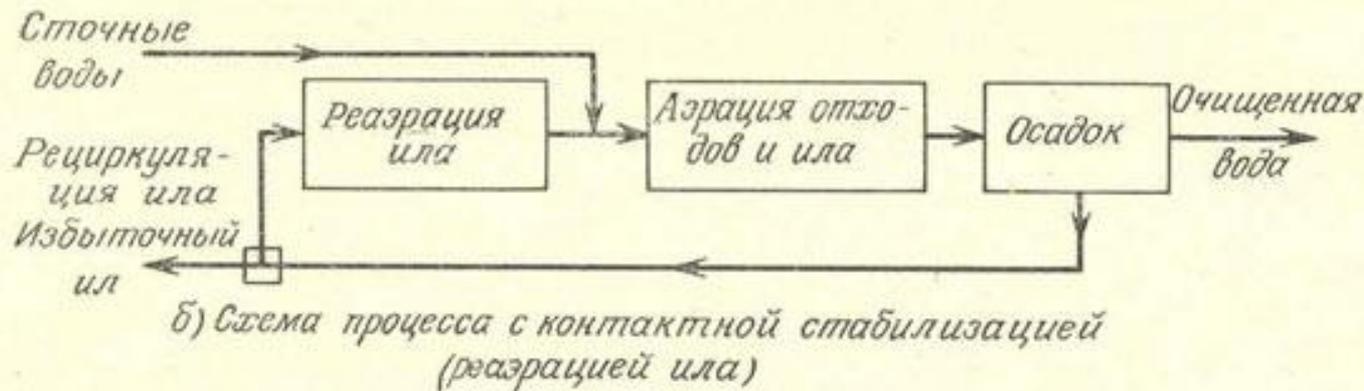
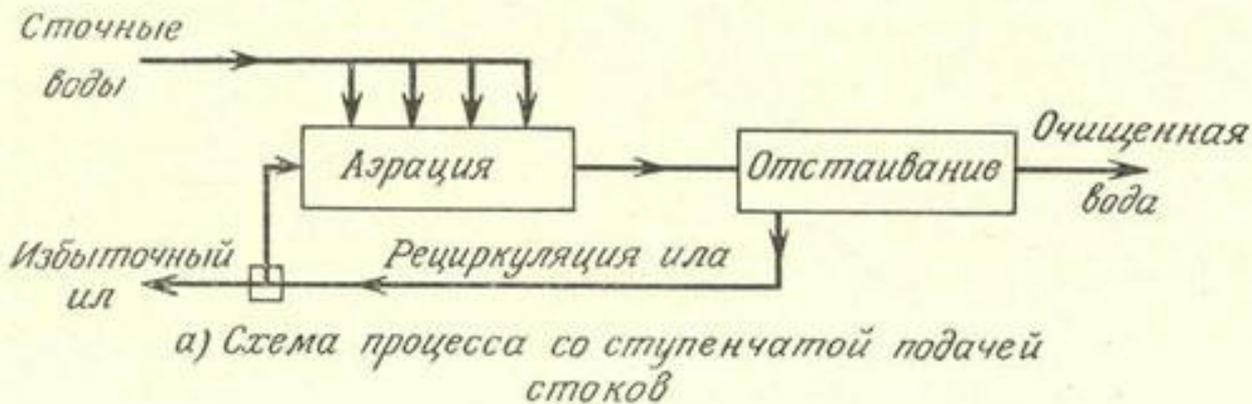
Процессы с участием активного ила

Активный ил характеризуется высоким сродством к суспендированным твердым веществам, включая коллоидальные частицы. Именно это обстоятельство служит причиной того, что первой стадией разрушения суспендированных твердых частиц в сточных водах является их присоединение к флокулам. Затем, способные к биодegradации компоненты адсорбированных частиц претерпевают окисление организмами флокулы.



Первой быстрой стадией разрушения органических веществ в аэрируемом реакторе периодического действия с активным илом является физический процесс — адсорбция органических веществ флокулами ила, затем следует более медленная стадия биологического окисления.

Схема контактной стабилизации



Для того чтобы выгоднее использовать высокую адсорбционную способность активного ила, разработан вариант обычного процесса, называемый контактной стабилизацией. В этом процессе рециркулирующий осажденный ил подвергается повторной аэрации прежде, чем он вступит в контакт с отходами, поступающими в аэрируемый резервуар. В нем органические вещества связываются с флокулами практически исключительно за счет физических сил. Биологическая утилизация связанных органических веществ происходит в основном в процессе повторной аэрации рециркулирующего ила; одновременно восстанавливается адсорбционная способность флокул ила.

Микробиологические методы очистки воды

Процессы с участием активного ила

Другие модификации процесса с участием активного ила отличаются от базового варианта главным образом способом осуществления контакта сточных вод, ила и воздуха в аэрируемом реакторе. Как показано на схеме, в процессе со ступенчатой подачей стоков поступающий поток после разделения вводят в аэрируемый резервуар в различных точках. Эффект разделения потока можно оценить, воспользовавшись рассмотренными ранее методами анализа реакторов.

Обычный аэротенк с активным илом представляет собой узкий длинный канал (коридор), который по своим характеристикам приближается к трубчатому реактору с незначительной дисперсией.

Распределение поступающего потока подлине реактора изменяет характеристики системы таким образом, что коридорный реактор по своему поведению приближается к емкостному реактору с полным перемешиванием.

Еще ближе к реактору с полным перемешиванием бассейн круглой формы, содержимое которого интенсивно аэрируется с целью обеспечения массопереноса и перемешивания. В такой системе градиенты концентраций растворенного кислорода и питательных веществ минимальны, а развивающаяся популяция организмов активного ила часто лучше переносит флуктуации нагрузки или резкие повышения концентраций токсичных веществ.

Системы аэрации. 1) **Барботаж с перемешиванием**, обычно используемый в микробиологических процессах, 2) **Барботаж воздуха через диффузоры**, расположенные на дне или в стенках резервуара. 3) **Перемешивание механической мешалкой с лопастями**, размещенной на поверхности бассейна, мешалка создает турбулентные течения и способствует поглощению газа. 4) **Перемешивание и аэрация с помощью конуса**, который забирает жидкость со дна бассейна и разбрызгивает ее на стенки резервуара. Во всех случаях основной задачей системы аэрации и перемешивания является снабжение кислородом микроорганизмов, суспендирование и перемешивание ила и других нерастворимых компонентов системы, а также удаление летучих продуктов метаболизма организмов ила, например диоксида углерода.

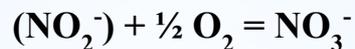
Нитрификация и денитрификация

Нитрификация — процесс окисления кислородом воздуха аммонийного азота до нитритов и нитратов, осуществляемый нитрифицирующими микроорганизмами. На первой стадии процесса нитрификации аммоний окисляется до нитритов, на второй стадии нитриты окисляются до нитратов.

Для процесса нитрификации оптимальная величина рН составляет 7—9; возможна нитрификация и при рН —6—7. Азот в форме аммиака и соединений аммония, получающийся в процессах биогенной азотфиксации, быстро окисляется до нитратов и нитритов. Этот процесс носит название нитрификации, он осуществляется нитрифицирующими бактериями. Однако нет такой бактерии, которая бы прямо превращала аммиак в нитрат. В его окислении всегда участвуют две группы бактерий: одни окисляют аммиак, образуя нитрит, а другие окисляют нитрит в нитрат. Наиболее известные виды нитрифицирующих бактерий — это *Nitrosomonas* и *Nitrobacter*. *Nitrosomonas* окисляет аммиак:



Nitrobacter окисляют нитрит:



Бактерии, окисляющие аммиак, поставляют субстрат для бактерий, окисляющих нитрит. Поскольку высокие концентрации аммиака оказывают на *Nitrobacter* токсическое действие, *Nitrosomonas*, используя аммиак и образуя кислоту, тем самым улучшает условия существования для *Nitrobacter*.

Нитрификаторы — граммотрицательные бактерии, принадлежащие к семейству *Nitrobacteracea*. Им не нужны восстановленные соединения углерода для нормального роста и размножения, они способны восстанавливать CO_2 до органических соединений, используя для этого энергию окисления минеральных соединений азота - аммиака и нитритов. То есть нитрификаторы - бактерии, которые способны питаться исключительно неорганическими соединениями и осуществляют процесс хемосинтеза, синтеза органических соединений из минеральных. Хемосинтез - путь усвоения живыми существами неорганического углерода, альтернативный фотосинтезу. Растения используют нитраты для образования разных органических веществ. Животные потребляют с пищей растительные белки, аминокислоты и др. азотсодержащие вещества. Таким образом, растения делают органический азот доступным для других организмов-консументов.

Все живые организмы поставляют азот в окружающую среду. С одной стороны, все они выделяют в ходе жизнедеятельности продукты азотистого обмена: аммиак, мочевину и мочевую кислоту. Последние два соединения разлагаются в почве с образованием аммиака (который при растворении в воде даёт ионы аммония).

Микробиологические методы очистки воды

Нитрификация и денитрификация

Продукты нитрификации — NO_3^- и NO_2^- - в дальнейшем подвергаются денитрификации. Этот процесс целиком происходит благодаря деятельности денитрифицирующих бактерий, которые обладают способностью восстанавливать нитрат через нитрит до газообразной закиси азота (N_2O) и азота (N_2). Эти газы свободно переходят в атмосферу.



В отсутствие кислорода нитрат служит конечным акцептором водорода. Способность получать энергию путем использования нитрата как конечного акцептора водорода с образованием молекулы азота широко распространена у бактерий. Временные потери азота на ограниченных участках почвы, несомненно, связаны с деятельностью денитрифицирующих бактерий. Таким образом, круговорот азота невозможен без участия почвенной микрофлоры.

Денитрификация — процесс восстановления нитритов и нитратов до свободного азота, который выделяется в атмосферу. Процесс может быть реализован при наличии в воде определенного количества органического субстрата, окисляемого сапрофитными микроорганизмами до CO_2 и H_2O за счет кислорода азотсодержащих соединений. При денитрификации обеспечивается очистка сточных вод одновременно от биологически окисляемых органических соединений и от соединений азота (NO_2^- и NO_3^-). Наиболее эффективно процесс денитрификации протекает при $\text{pH}=7-7,5$; при pH ниже 6 или выше 9 процесс затормаживается.

В качестве органического субстрата в процессе денитрификации могут быть использованы любые биологически окисляемые органические соединения (углеводы, спирты, органические кислоты, продукты распада белков и т. д.). Источником углеродного питания при очистке сточных вод методом денитрификации могут быть сточные воды, прошедшие очистку в первичных отстойниках, а также органические производственные стоки, предпочтительно не содержащие азота.

Необходимое соотношение величины БПК в сточных водах к нитратному азоту примерно равно 4:1.

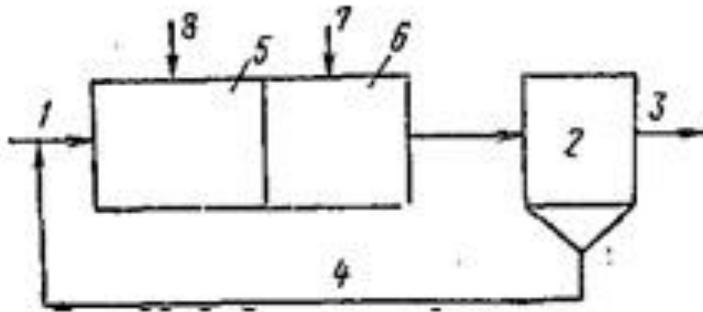
Для процессов **нитрификации и денитрификации** могут быть использованы традиционные сооружения биологической очистки: аэротенки и биофильтры.

Микробиологические методы очистки воды

Схемы осуществления процессов нитрификации и денитрификации

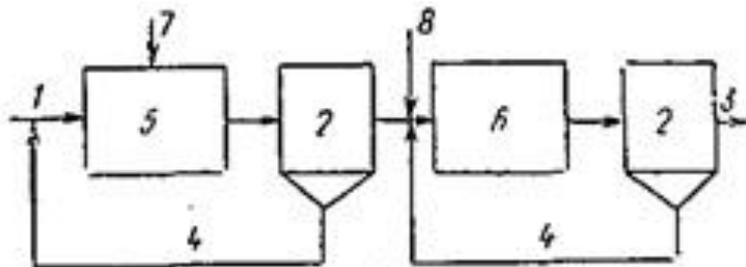
При использовании аэротенков с продленной аэрацией обработка сточных вод одностадийная; она проводится до полной нитрификации и денитрификации в одном сооружении.

В случае, если выделяется секция денитрификации, в которую подается органический субстрат, схема становится двухстадийной. Перемешивание в секции денитрификации осуществляется механическими мешалками без подачи воздуха. При двухстадийной обработке сточных вод устраивают аэротенк продленной аэрации и отдельно расположенный денитрификатор.



Одностадийная система очистки воды

1 — подача исходной воды; 2 — отстойник; 3 — отвод очищенной воды; 4 — возвратный ил; 5 — аэротенк продленной аэрации; 6 — зона денитрификации; 7 — подача органического субстрата; 8 — подача воздуха

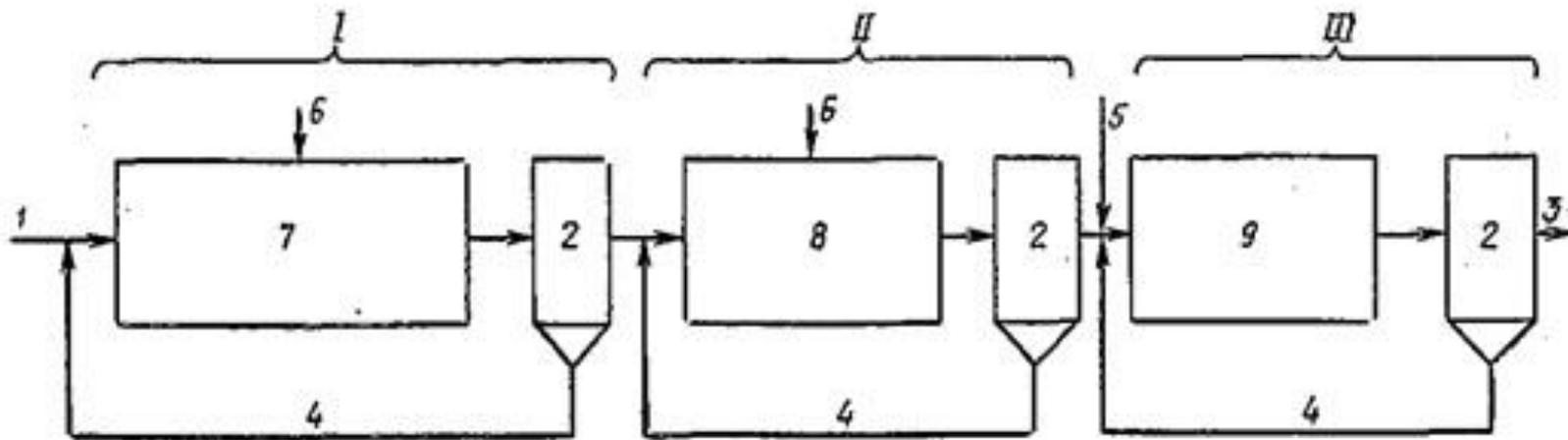


Двухстадийная система очистки воды

1 — подача исходной воды; 2 — отстойники; 3 — отвод очищенной воды; 4 — возвратный ил; 5 — аэротенк-нитрификатор; 6 — денитрификатор; 7 — подача воздуха; 8 — подача органического субстрата

Трехстадийная схема осуществления процессов нитрификации и денитрификации

Применяют также трехстадийную обработку сточных вод, или так называемую систему трех иловых культур. Для каждой стадии процесса — аэрации, нитрификации и денитрификации имеются свой аэротенк, отстойник и система возврата активного ила.



Трехстадийная I, II, III система очистки воды

1 — подача исходной воды; 2 — отстойники; 3 — отвод очищенной воды; 4 — возвратный ил; 5 — подача органического субстрата; 6 — подача воздуха; 7 — аэротенк биологической очистки; 8 — нитрификатор; 9 — денитрификатор

Схема очистки производственных сточных вод от азота

При содержании в сточной воде преимущественно нитратов целесообразно вначале предусмотреть зону денитрификации, в которой органический субстрат будет окисляться за счет нитратов с выделением свободного азота, и зону аэрации для окончательного окисления органических веществ. Если в сточной воде содержатся нитратный и аммонийный азот при незначительном количестве органических веществ, вначале предусматривают зону нитрификации, затем зоны денитрификации и аэрации.

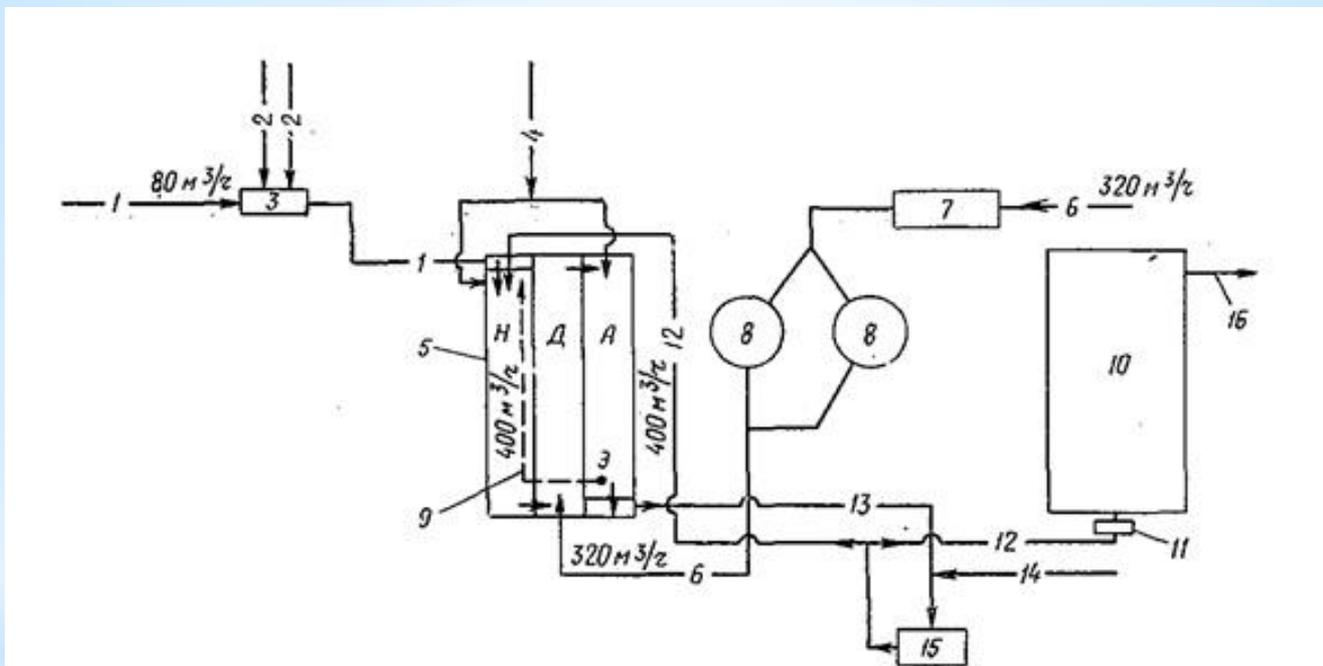


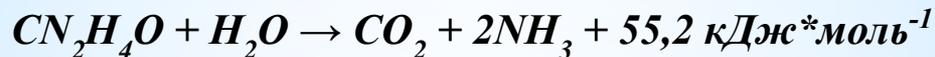
Схема очистки производственных сточных вод от азота

1 — подача усредненных азотсодержащих сточных вод; 2 — подача реагентов (известкового молока и суперфосфата); 3 — камера смешения; 4 — подача воздуха; 5 — аэротенк с зонами нитрификации (Н), денитрификации (Д) и аэрации (А); 6 — подача органосодержащих сточных вод; 7 — усреднитель; 8 — первичные отстойники органосодержащих вод; 9 — рециркуляция с помощью эрлифта (3) очищенной от азота жидкости в зону нитрификации для разбавления; 10 — аэротенки бытовой канализации; 11 — иловая камера; 12 — возвратный ил; 13 — отвод смеси очищенных от азотистых вод с активным илом; 14 — подача ила из вторичных отстойников бытовой канализаций; 15 — иловая насосная станция; 16 — отвод очищенной воды

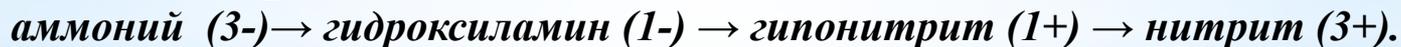
Микробиологические методы очистки воды

Метаболизм биологической деструкции биогенных веществ

Процесс глубокой нитрификации городских сточных вод может осуществляться в сооружениях биологической очистки сточных вод при оптимальных условиях развития микроорганизмов. При распаде органических азотсодержащих веществ, в основном, белков, под воздействием аэробных микроорганизмов в сточных водах образуется аммонийный азот. В аэробных условиях продолжается микробиологическое окисление аммонийного азота в нитриты, а затем в нитраты. Группу аммонифицирующих микроорганизмов, относящуюся к хемогетеротрофам, представляют рода *Bacillus* и *Pseudomonas*, семейство *Enterobacteriaceae*. В результате гидролиза белка под воздействием экзоферментов, образуются аминокислоты, используемые микроорганизмами в конструктивных и энергетических целях:



Нитрифицирующие микроорганизмы являются автотрофными, использующими для синтеза энергию, которая выделяется при окислении аммиака и углерод углекислого газа. Энергетические реакции автотрофов представляют собой последовательные процессы. Первая фаза нитрификации, окисления аммиака до нитритов, которую осуществляют микроорганизмы рода *Nitrosomonas*, состоит из ряда последовательных ступеней:



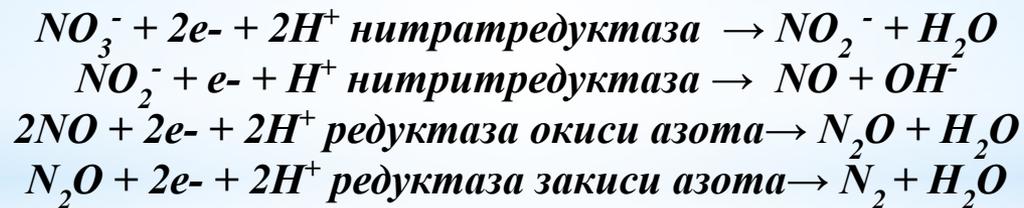
Общий вид процесса окисления аммиака описывается уравнением:



Возбудитель второй фазы нитрификации - *Nitrobacter*, использующий для своего развития единственный субстрат. На *Nitrobacter* оказывает ингибирующее действие молекулы недиссоциированной азотистой кислоты в кислой среде. А в щелочной области его развитие ограничивается свободным аммиаком, который является регулирующим фактором в его метаболизме с бактериями *Nitrosomonas*.

Протекание процесса денитрификации

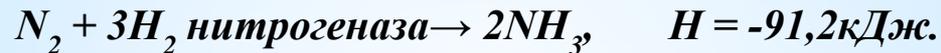
Группа денитрифицирующих микроорганизмов использует кислород нитратов и нитритов в качестве акцептора водорода. Микробиологическая денитрификация происходит с большей эффективностью в анаэробных условиях, когда органические вещества окисляются, а нитрат используется в виде акцептора водорода с выделением при этом газообразного азота. В ходе биологической очистки при изменении ее аэробных условий на анаэробные, микроорганизмы вынуждены менять тип дыхательных биохимических процессов, переходя от использования растворенного в воде кислорода к потреблению химически связанного в виде нитритов и нитратов, что снижает скорость биохимических процессов. Денитрификация осуществляется хемогетеротрофными микроорганизмами родов *Pseudomonas*, *Achromobacter*, *Micrococcus*, *Bacillus* и др. Некоторые денитрификаторы способны к нитрат-нитритному дыханию, при котором происходит восстановление нитрата до нитрита или далее до аммиака. При денитрификации можно различить четыре стадии восстановления:



Нитраты не просто заменяют кислород, в этом случае происходит образование специальных типов цитохромов и связанных с мембранами ферментных систем, которые восстанавливают нитрат до нитрита и далее до молекулярного азота.

Процессы фиксации азота

Свободноживущие азотфиксаторы могут быть представлены в сточных водах как анаэробными микроорганизмами рода *Clostridium*, так и факультативными аэробами родов *Azotobacter*, *Bacillus*, *Mycobacterium*. Эта группа микроорганизмов в качестве ферментной системы для восстановления N_2 до аммиака, использует нитрогеназу. Образование аммиака происходит по следующей схеме:



Таким образом, азоттрансформирующие микроорганизмы, осуществляющие полный круговорот азота в экологическом пространстве сооружений биологической очистки являются, в основном, бактериями-симбиотантами и имеют различные метаболические пути развития.

Для моделирования процесса очистки сточных вод от соединений азота необходимо учитывать метаболические закономерности, описывающие все вышеперечисленные процессы. При этом возможно аммонификацию и азотфиксацию рассматривать как лимитирующие факторы совместного процесса окисления восстановления азотных соединений, так как образование аммиака происходит в момент распада белковых соединений (единственного внешнего энергетического субстрата), а азотфиксация может наблюдаться при минимальной концентрации азотных веществ в очищенных сточных водах. Следовательно, в основу математического моделирования могут быть заложены уравнения ферментативной кинетики последовательно полученных субстратов на стадии процесса нитрификации и денитрификации, учитывающие динамику роста соответствующего процессу виду популяций.