

5.2. Теоретические основы биологической очистки воды в искусственных условиях

5.2.1. АКТИВНЫЙ ИЛ

АКТИВНЫЙ ИЛ

Совокупность микроорганизмов, развивающихся в сооружении, основную часть которой составляют бактерии, образующие колонии.

По внешнему виду активный ил представляет собой мелкие хлопья цветом от белесо-коричневого до темно-коричневого, в некоторых случаях - черного. Хлопья состоят из большого числа многослойно расположенных бактерий, заключенных в слизь. Такие бактериальные колонии называют *зооглеем*.

Хлопьеобразование

Хлопьевидные агрегаты бактериальных клеток образуются в результате взаимодействия полимеров, выделяемых бактериальными клетками или адсорбированных ими.

Вещество, заполняющее межклеточное пространство, подобно синтетическим полиэлектролитам (полиакриламиду, полиглутаминовой кислоте и т.п.).

Различные микроорганизмы выделяют разные вещества, заполняющее межклеточное пространство, но все они представляют собой фибриллярный полимер, который в значительных количествах содержит нуклеиновые кислоты и полисахариды.

Вязкость слизи стабильна в пределах значений $\text{pH} = 5 - 9$ (при $\text{pH} < 5$ вязкость снижается).

Способность культуры образовывать хлопья зависит также от вида бактерий, их возраста, состава среды и температуры. Возможно создание условий обитания микроорганизмов, при которых хлопьеобразование не происходит.

Хлопьеобразование (продолжение)

Клетки, не обладающие способностью образовывать хлопья, но смешанные с хлопьеобразующими организмами, могут дать хорошее хлопьеобразование и благодаря этому могут быть выделены из воды отстаиванием.

Хлопьеобразование представляет собой сложный процесс, зависящий от многих факторов и включающий явление полимеризации межклеточного вещества, нейтрализацию поверхностных клеточных зарядов и образование ионных мостиков между клетками, а также, возможно, другие реакции.

Физико-химическая характеристика

Активный ил представляет собой коллоид, имеющий в интервале значений $\text{pH} = 4 - 9$ отрицательный заряд. Активный ил обладает значительной площадью поверхности, величина которой достигает 100 м^2 на 1 г сухого вещества. Благодаря этому он обладает большой адсорбционной способностью.

Обладает способностью связывать значительные количества воды. Например, при содержании в 100 мл суспензии 1,257 г ила в пересчете на сухое вещество (т.е. в смеси содержится 98,743 % воды) содержание связанной воды составляет 82,485 мл, а свободной – 16,258 мл.

Способность активного ила связывать воду зависит от его концентрации в смеси: с повышением концентрации она увеличивается, с понижением – уменьшается.

Склонность активного ила к образованию хлопьев увеличивается с повышением величины pH . Этим объясняется лучшая осаждаемость активного ила в щелочной среде.

Физико-химическая характеристика (продолжение)

Размер хлопьев определяется количеством нитчатых микроорганизмов. Чем больше нитчатых микроорганизмов, тем больше размер хлопка.

Физические свойства активного ила зависят от условий, при которых протекает процесс очистки. Удельное сопротивление сырого активного ила снижается с увеличением периода аэрирования и температуры, при которой ведется процесс. Зольность активного ила обычно нарастает с увеличением значений рН.

Биологическая характеристика

Активный ил представляет собой скопление бактерий в виде зооглея. В нем присутствуют также актиномицеты, водные грибы и дрожжи. Наиболее многочисленной группой являются бактерии. В определенных условиях возможно интенсивное развитие грибов. Кроме грибов, в воде биохимических сооружений присутствуют простейшие и другие более организованные представители фауны (коловратки, черви, личинки насекомых, водные клещи).

Зная биологический состав активного ила, можно учесть требования, предъявляемые микроорганизмами к условиям обитания и, таким образом, создать наиболее благоприятный режим очистки сточных вод.

Биологическая характеристика (продолжение)

Микробиальный состав активного ила зависит от вида загрязняющих веществ, присутствующих в сточных водах. Наиболее распространенными микроорганизмами являются бактерии рода *Pseudomonas* (около 54 %), затем *Mycobacterium* (около 11 %), *Bacterium* (около 9 %) и *Bacillus* (около 8 %). Названные бактерии являются доминирующими в активных илах (на их долю приходится около 82 % всего количества микроорганизмов) и принимают основное участие в разложении органических примесей в сточных водах. Количество бактерий в активных илах составляет от $1 \cdot 10^9$ до $4 \cdot 10^{10}$ на 1 г (в пересчете на сухое вещество).

В условиях обильного углеродного питания происходит увеличение объема слизистых клеточных оболочек, за счет этого уменьшается количество клеток в 1 г активного ила, а в условиях ограниченного углеродного питания размеры

Биологическая характеристика (продолжение)

Состав активных илов для очистки различных по составу сточных вод достаточно близок, но не идентичен. Это сходство объясняется общностью его основы – бактериальных клеток. Колебания количества отдельных компонентов состава ила являются следствием трех основных факторов:

- некоторое различие видового состава бактерий, ведущих очистку;
- отличия режимов процессов очистки;
- влияние состава сточных вод.

Химическая характеристика

Сухое вещество активного ила представляет собой комплекс минеральных (10 – 30 %) и органических (70 - 90 %) веществ. Основную массу органических веществ составляют белки, содержание которых может достигать 70 %.

Количество белковых веществ не постоянно. Оно зависит от возраста и вида культур микроорганизмов, образующих активный ил, а также от состава питательной среды.

Кроме белков, органическая часть активного ила содержит липиды (жиры и близкие к ним жироподобные вещества), углеводы и другие вещества. Процентное соотношение отдельных компонентов органической части ила, также как и химический состав, не одинаково для различных сточных вод.

Химическая характеристика (продолжение)

Наличие в активном иле белка, витамина B_{12} , микроэлементов, а также аминокислот (аргинин, аланин, аспаргиновая кислота, гистидин, глутаминовая кислота, глицин, лизин, лейцин, метионин, пиролин, серин и пр.) позволяет использовать ил как белково-витаминный концентрат для корма скота и птицы.

В минеральной части активного ила содержатся такие элементы, как водород, азот, сера, углерод, фосфор, кислород. Они составляют основную долю минеральных веществ. Кроме них, могут содержаться другие элементы, количество которых незначительно, поэтому их принято называть *микроэлементами* (бор, ванадий, железо, кобальт, марганец, молибден, медь и др.). Микроэлементы являются составными частями ферментов, витаминов и других жизненноважных элементов клеток.

5.2.2. Роль и взаимоотношение микроорганизмов активного ила при очистке сточных вод

Основные типов взаимоотношений между микроорганизмами:

- подавление;
- конкуренция за пищу;
- хищничество;
- паразитизм;
- сожительство.

Все они в отдельности и в комбинации наблюдаются в активном иле. Чтобы целенаправленно управлять работой активного ила, необходимо выявить микроорганизмы, выполняющие основную роль в разложении органических загрязнений сточных вод, и их взаимоотношения с другими организмами. Такая информация позволяет изучить и создать оптимальные условия обитания "ведущих" организмов, которыми являются бактерии. Именно в результате жизнедеятельности этих микроорганизмов и происходит очистка сточных вод.

Простейшие относятся к "пасущимся" организмам, т.е. живущим за счет потребления, в основном, бактерий или мельчайших взвешенных частиц органического происхождения.

И роль не является пассивной. Наличие простейших оказывает решающее влияние на снижение количества патогенных бактерий и бактерий кишечной палочки. Наличие в активном иле обильного количества простейших обеспечивает высокий процент задержания *Coli*-бактерий (95 – 97 %), вследствие чего в очищенной воде крайне редко обнаруживаются возбудители острых кишечных заболеваний. Наличие простейших в активном иле приводит к значительному (примерно в 10 раз) снижению общего количества бактерий в очищаемой воде, снижению мутности воды и улучшает качество сточных вод по ХПК, БПК и содержанию взвешенных веществ.

Концентрация простейших в активном иле должна составлять 200 – 500 мм³ /л.

Присутствие простейших стимулирует рост бактериальных культур. При чем прирост биомассы начинается практически сразу после внесения активного ила в питательную среду, то есть отсутствует период адаптации или его продолжительность незначительна.

Видовое разнообразие простейших обуславливается качеством сточной воды. При высоких нагрузках и низкой степени очистки присутствует большое количество растворенных органических веществ, в связи с чем в сооружениях биологической очистки интенсивно развиваются формы, поступление питания у которых идет через всю поверхность тела – бактерии и некоторые бесцветные жгутиковые. Обильное развитие этих форм создает условия для размножения простейших, питающихся, путем заглатывания мелких частиц. При высокой степени очистки количество свободно плавающих бактерий невелико и простейшие, не имеющие специальных приспособлений для сгущения пищи, не могут обеспечивать себя питанием. Происходит смена биоценоза, появляются простейшие с хорошо развитым околотротовым полем.

Простейших можно считать биоиндикаторами хода очистки сточных вод активным илом. Наблюдения за сменой биоценозов дают сведения о правильности или нарушениях хода очистки.

Простейшие могут служить индикаторами лишь при значительном

Черви, клещи, личинки насекомых, питающиеся илом, не играют значительной роли при очистке сточных вод в сооружениях биологической очистки.

5.2.3. Механизм изъятия и потребления вещества микроорганизмами

Основные стадии процесса изъятия и потребления веществ микроорганизмами

- Массопередача вещества из жидкости к поверхности клетки;
- Диффузия вещества через полупроницаемые клеточные мембраны, в необходимых случаях гидролиз органических веществ с образованием продуктов, способных диффундировать через мембраны клеток;
- Превращение диффундированных веществ с выделением энергии и синтезом нового клеточного вещества.

Массопередача

Перенос вещества из жидкости к поверхности бактериальной клетки.

Скорость процесса определяется законами диффузии и гидродинамическими условиями в сооружении.

Диффузия вещества

Процесс переноса вещества с поверхности клетки внутрь ее (в зависимости от природы вещества и его свойств) может осуществляться двумя путями:

- путем последовательного растворения вещества в веществе стенки и цитоплазматической мембраны, благодаря чему оно диффундирует внутрь клетки;
- Путем присоединения проникающего вещества к специфическому белку-переносчику, находящемуся в мембране, превращения комплекса «вещество – переносчик» в растворимое состояние и диффузии его внутрь клетки, где этот комплекс распадается, а белок-переносчик высвобождается для нового цикла.

Этим двум путям может предшествовать гидролиз вещества под действием внешклеточных ферментов (экзоферментов).

Необходимым условием для осуществления указанных процессов является наличие контакта между веществом и поверхностью бактериальной клетки, т.е. Должен пройти процесс сорбции.

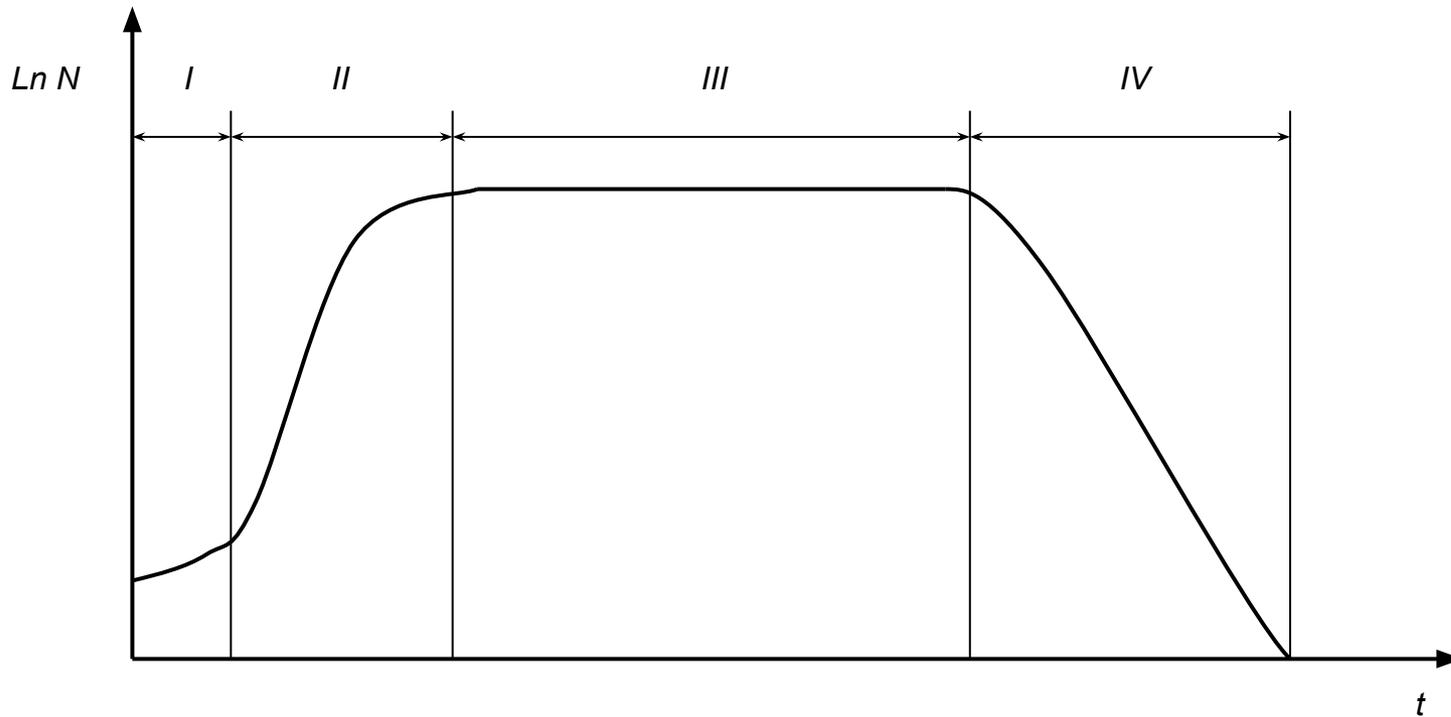
Превращение диффундированных веществ

Включает в себя два основных процесса:

- окисление вещества, протекающее с выделением энергии;
- синтез нового клеточного вещества, протекающий с поглощением энергии.

Играет основную роль в процессе очистки сточных вод.

5.2.4. Основные фазы развития микроорганизмов. Понятие о прерывно и непрерывно развивающейся культуре микроорганизмов



N – число бактерий; t – время; I – лаг-фаза; II – экспоненциальная фаза; III – стационарная фаза; IV – фаза интенсивного отмирания бактериальных клеток

Лаг-фаза

Фаза адаптирования микроорганизмов к условиям окружающей среды.

Характеризуется непрерывным увеличением скорости роста числа бактериальных клеток.

Экспоненциальная фаза

Фаза быстрого развития микроорганизмов.

Скорость роста находится в экспоненциальной зависимости от количества биомассы и является функцией времени.

Стационарная фаза

Фаза постоянной численности бактериальных клеток.

Скорость роста числа бактериальных клеток равна скорости их отмирания.

Фаза интенсивного отмирания клеток

Фаза снижения числа бактериальных клеток.

Скорость отмирания бактериальных клеток выше скорость их роста, причем она постоянно растет.

Прерывно развивающиеся культуры микроорганизмов

Жизненный цикл развития культуры микроорганизмов заканчивается формированием особых репродуктивных клеток, которые, попадая в благоприятную среду, дают новое поколение микроорганизмов. Такие культуры, проходящие полный цикл развития, принято называть прерывными или непроточными культурами.

Непрерывно развивающиеся культуры микроорганизмов

При постоянных условиях обитания развитие культуры микроорганизмов останавливается на одной точке. Такие условия можно обеспечить путем постоянной подачи питательной среды в культуру микроорганизмов при интенсивном ее перемешивании. При этом такое же количество питательной среды с частью микроорганизмов следует отводить из сооружения. Данный способ культивирования принято называть непрерывным или проточным. При правильном его использовании можно поддерживать микроорганизмы в стадии молодости (экспоненциальная фаза развития), когда они, интенсивно размножаясь, быстро потребляют питательные вещества из сточной воды, что ведет к повышению производительности очистной станции.

Однако, следует учесть, что не всякий непрерывный с технологической точки зрения процесс является непрерывным с биологической точки зрения. Для того, чтобы процесс стал биологически непрерывным, необходимо обеспечить условия постоянного роста культуры микроорганизмов, т.е. чтобы микроорганизмы не успевали проходить весь жизненный цикл в сооружении биохимической очистки сточных вод.