

Лекции № 9, 10 Микробиология воды

Общие сведения о микроорганизмах

Микробиология (от греч. *micros* — малый, *bios* — жизнь и *logos* — наука) — это наука об организмах, которые невозможно рассмотреть невооруженным глазом.

Микробиология изучает живые организмы, размер которых менее 1 мм (размеры микроорганизмов измеряются микрометрами (мкм) или нанометрами (нм)) — это вирусы, бактерии, грибы и водоросли, простейшие и некоторые многоклеточные животные.

Основная единица в систематике микроорганизмов, как и других живых организмов — вид. **Вид** объединяет микроорганизмы, имеющие общее происхождение, общие морфологические и физиологические признаки и приспособленные к существованию в определенных условиях окружающей среды. Виды объединяются в группы (таксоны) более высокого ранга — **роды**, которые, в свою очередь, группируются в **семейства**, семейства — в **порядки**, порядки — в **классы**. Высший уровень таксонометрической иерархии — **царство**.

ЦАРСТВО-ОТДЕЛ-КЛАСС-ПОРЯДОК-СЕМЕЙСТВО-РОД-ВИД

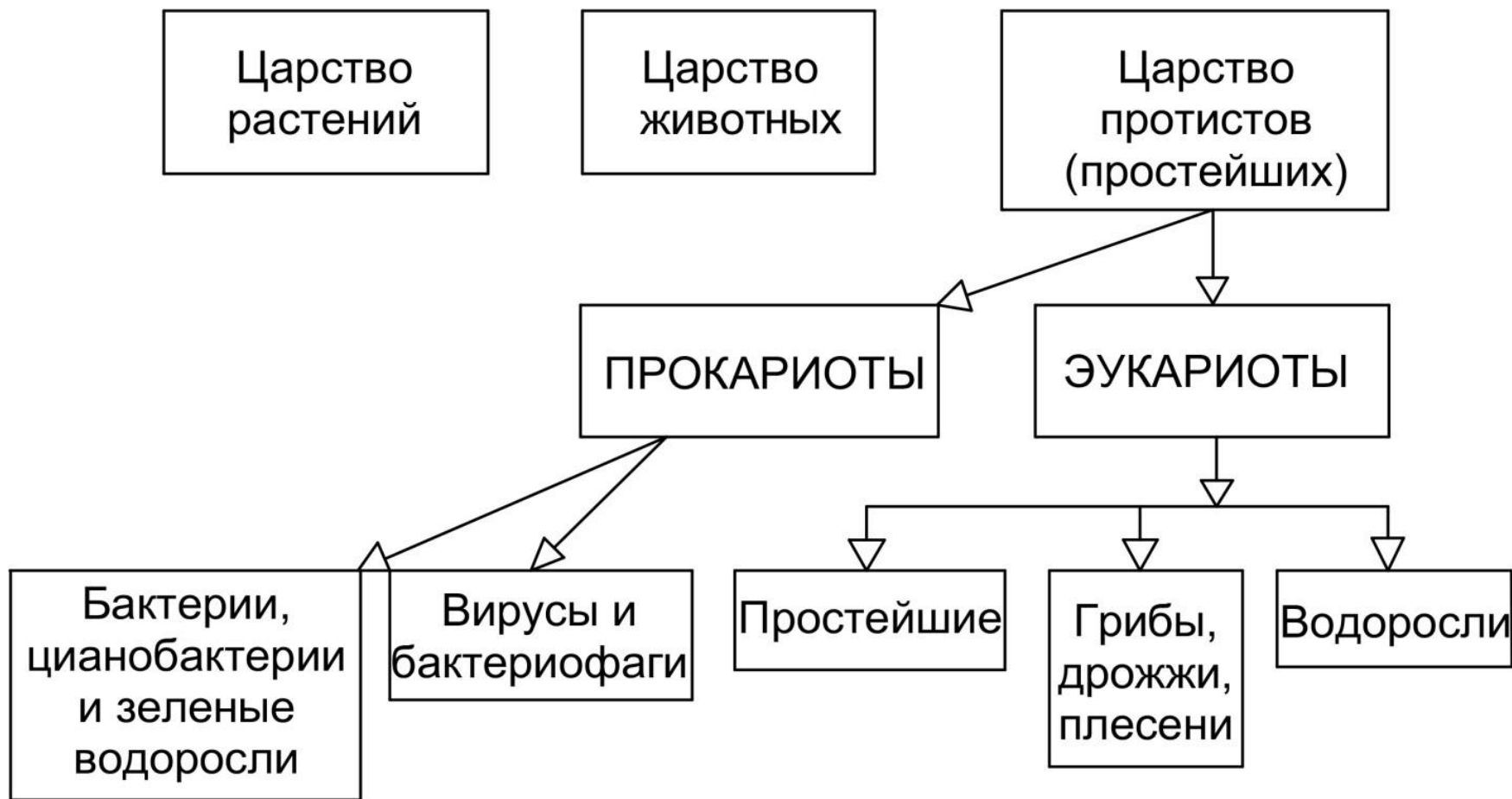


Рис. Микроорганизмы в системе живого мира

Основные принципы систематики микроорганизмов

Видовое название микроорганизма складывается из двух слов: первое обозначает род и пишется с прописной буквы, второе обозначает вид, к которому принадлежит микроорганизм, и пишется со строчной буквы, например *Esherchia coli* (кишечная палочка), *Clostridium tetani* (столбнячная палочка), *Paramecium caudatum* (инфузория туфелька).

Группы микроорганизмов:

I— **эукариоты, или высшие протисты**, клетки которых по своему строению сходны с клетками высших животных и растений, т.е. имеют обособленное ядро, содержащее заключенную в хромосомах наследственную информацию.

II – **прокариоты, или низшие протисты**, клетки которых не имеют четко сформированного ядра, его заменяют ядроподобные образования — нуклеоиды. К прокариотам относятся бактерии, сине-зеленые водоросли, риккетсии, микоплазмы и др. (см. рис.).

Наиболее часто встречаются в природных и сточных водах:

1. **Ультрамикробы (вирусы)** – микроорганизмы, видимые только под электронным микроскопом (увеличение в 45000 раз), не имеют клеточного строения, размножаются только внутри клеток живого организма. Вызывают следующие заболевания: гепатит, энцефалит, оспа, бешенство. Они обладают большой жизнеспособностью (могут выжить в запаянной ампуле в темноте, в течение нескольких лет, перенести t до $-190\text{ }^{\circ}\text{C}$, спирт 50 %). Встречаются в природных и сточных водах.

Промежуточное положение между ультрамикробами и бактериями занимают **риккетсии**.

2. **Бактерии** – основной объект изучения микробиологии. Одноклеточные бактерии видимы под микроскопом. Размеры соответствуют 0,4–10 мкм.

Виды бактерий по внешнему виду:

- шаровидные (кокки);
- палочкообразные (цилиндрические);
- извитые (спириллы, спирохеты).

Многоклеточные бактерии видимы невооруженным глазом, это так называемые **нитчатые бактерии** – железо- и серобактерии. От спор освобождаются стерилизацией ($120\text{ }^{\circ}\text{C}$, 2 атм., 20 минут и более).

Железобактерии покрыты слизистой оболочкой, состоящей из $\text{Fe}(\text{OH})_3$.

Бактерии, образующие споры, называются **бациллами**, а не образующие просто бактериями. Споры выдерживают воздействие температуры в $100\text{ }^\circ\text{C}$ в течение нескольких часов, высушивание, действие ядов. Попадая в благоприятные условия, бактерия оживает.

3. **Актиномицеты (лучистые грибы)** занимают промежуточное положение между бактериями и грибами. Продукты их жизнедеятельности в условиях затрудненной аэрации вызывают появление неприятных запахов и привкусов у воды.

4. **Грибы** относятся к бесхлорофильным растениям, не нуждающимся в солнечной энергии. Грибы, развивающиеся в виде нитевидных форм (мицелий), называются **плесени**. Те, которые развиваются в виде одноклеточных элементов, называются **дрожжи**. Четкого разграничения между плесенями и дрожжами нет, т.к. при изменении внешних условий могут переходить из одной формы в другую. Так, при низких температурах, все грибы переходят в плесени, отсутствие кислорода способствует развитию дрожжевых клеток. Некоторые вещества, например сивушные масла, способствуют переходу от дрожжевых в нитевидные формы. Грибы обладают высокой ферментативной активностью, что используется в пищевой промышленности и санитарной технике.

5. **Водоросли** – широкий класс организмов, которые относятся к низшим растениям, содержащим хлорофилл и имеющим примитивное строение тела, не расчлененное на стебель, листья и корни. Они бывают одноклеточной, многоклеточной и колониальной формы. Размножаются вегетативным, бесполовым и половым путем. При вегетативном размножении клетка делится пополам, при бесполовом – не несколько частей. Главное место обитания водорослей – водоемы. Их развитие связано с сезонами года, наличием питательных веществ, солевого состава воды. Например, зимой больше диатомовых водорослей, а летом – зеленых и сине-зеленых. Весной и осенью – переходное состояние.

6. **Простейшие** – одноклеточные организмы животного происхождения. Размеры большинства из них в 100 раз больше размера бактерий. Простейшие размножаются делением клеток.

В цитоплазме простейших содержатся вакуоли, выполняющие различные функции, например пищеварительная вакуоль, сократительная вакуоль (выводит продукты жизнедеятельности), дыхание осуществляется за счет кислорода, растворенного в воде.

Ряд простейших при попадании в неблагоприятные условия превращаются в цисты, имеющие плотную оболочку, тем самым приобретая устойчивость к воздействию внешних факторов.

При высыхании прудов и озер цисты разносятся ветром и поэтому встречаются повсюду: в почве, пыли, водоемах, человеческом организме, в сточных водах и т. д. Они принимают активное участие в минерализации органических веществ в естественных и искусственных условиях очистки природных и сточных вод. Нередко цисты являются источниками заболеваний человека и животных (малярия, дизентерия, кишечная амеба).

7. **Коловратки** – многоклеточные животные микроорганизмы, имеющие размеры до 2 мкм. Они имеют примитивную пищеварительную систему (ротовая полость, глотка, желудок, узкая кишка), дыхательной и кровеносной системы нет. Питаются микроорганизмами (бактерии, простейшие), частицами взвешенных органических веществ.

Коловратки – **аэробы**, они чувствительны к недостатку кислорода, предельной температурой для них является 50 °С, при неблагоприятных условиях образуют цисты. Коловратки чувствительны к изменению активной реакции среды. Они являются показательными организмами, характеризующими работу очистных сооружений в аэробных условиях.

В очистных сооружениях обитают также более сложные живые микроорганизмы: черви, ракообразные и т.п.

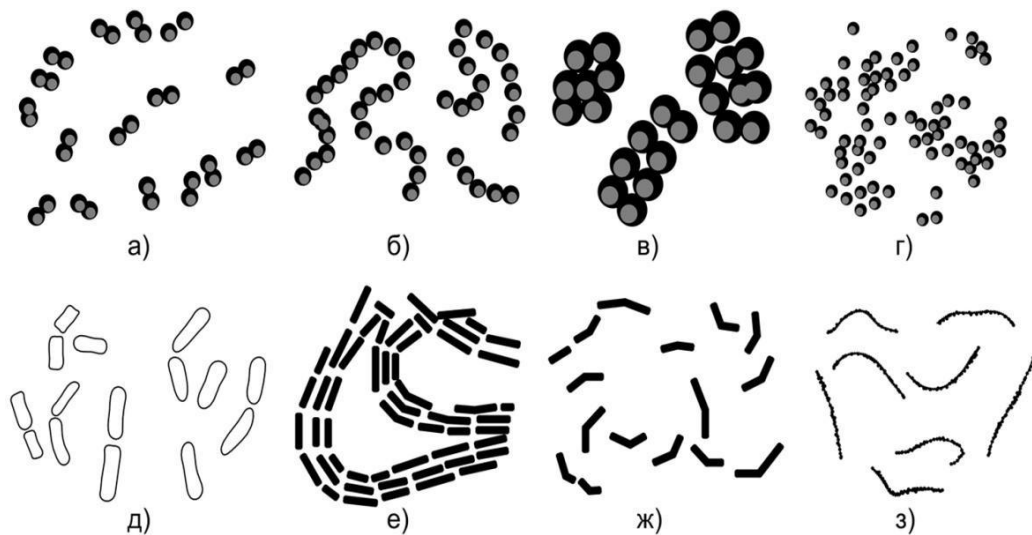


Рис. Основные виды бактерий:
 а — диплококки; б — стрептококки; в — сарцины;
 г — стафилококки; д — бациллы; е — вибрионы; ж — спирохеты

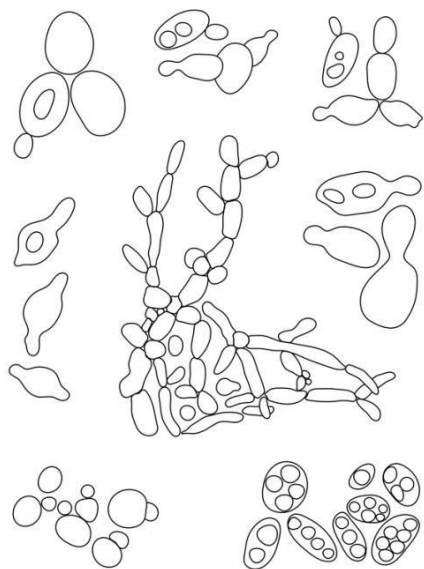


Рис. Дрожжи

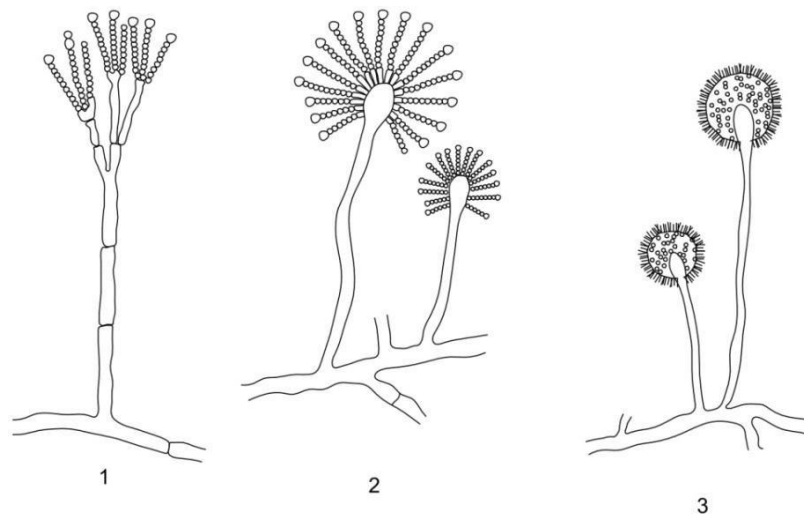


Рис. Плесневые грибы:
 1 — Penicillium; 2 — Aspergillus; 3 — Мисор

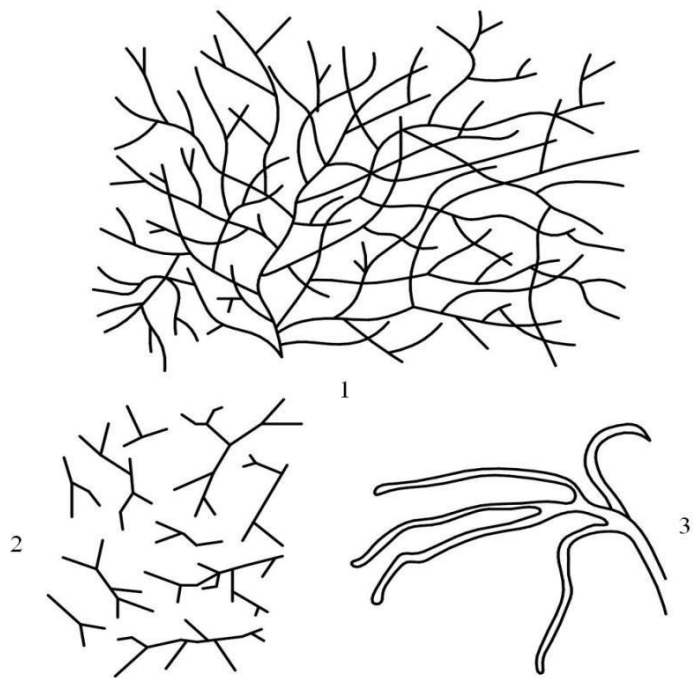


Рис. Актиномицеты:
 1 — мицелиальная форма; 2
 — немцелиальная форма; 3
 — споры

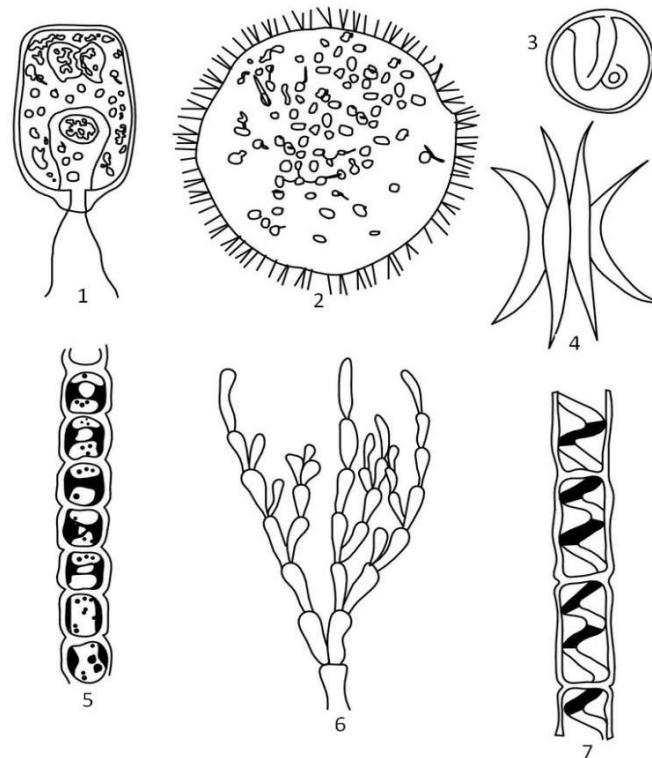


Рис. Зеленые водоросли:
 1 — *Clamidomonas simplex*; 2 — *Volvox aureus*; 3 — *Chlorella vulgaris*;
 4 — *Scenedesmus acuminatus*; 5 — *Ulotrix zonata*; 6 — *Cladophora glomerata*; 7 —
Spirogira porticaills

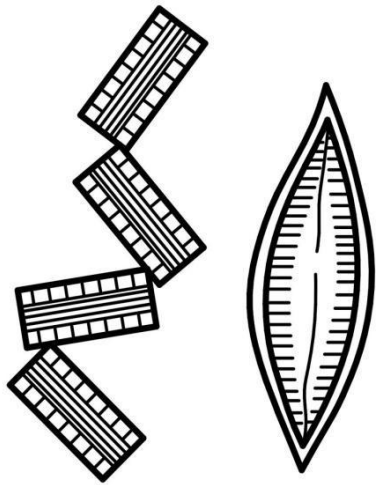


Рис. Диатомовые водоросли

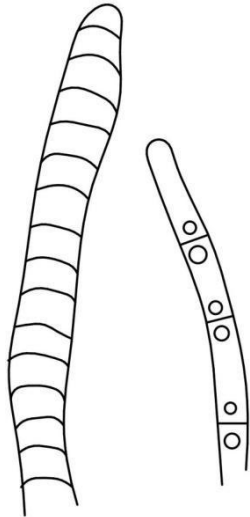


Рис. Синезеленые водоросли

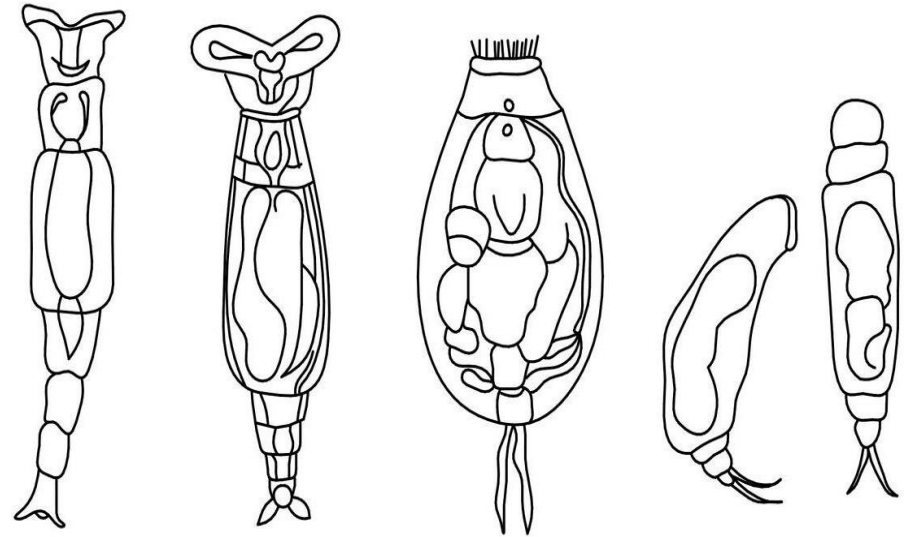


Рис. Коловратки:

а — *Philodina roseola*; б — *Callidina vorax*;
в — *Cathypna luna*; г — *Notommata ansata*

Химический состав микроорганизмов

Микроорганизмы состоят на 75–90 % из **воды**, связанной с коллоидными веществами, из одних и тех же **элементов**:

- C, N, H, O – 98 %;
- P, S, Cl, K, Mg, Na, Ca, Fe – 1,9 %;
- все остальные – 0,1 %.

Эти элементы входят в состав микроорганизмов, в основном, в виде солей Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , HPO_4^{2-} , H_2PO_4^- , CO_3^{2-} , HCO_3^- , Cl^- .

Белки состоят из 20 аминокислот, содержание их колеблется от 8 до 14 %. Выполняют защитные, транспортные, двигательные, сигнальные функции и являются строительным материалом.

Жиры – это энергетический материал, содержание его 1–4 %, иногда достигает 30 % и более.

Углеводы – источник энергии.

Микроэлементы – Mn, I, Co, Zn и другие.

Строение клеток микроорганизмов

Микробная клетка покрыта оболочкой, которая сохраняет форму бактерий, обеспечивает защиту микроба от внешних воздействий, а самое главное – через оболочку происходит проникновение питательных веществ в клетку и удаление продуктов жизнедеятельности.

Содержимое микробных клеток состоит из цитоплазмы, разнообразной по своему составу включений (жиры, углеводы) и ядра (генокод).

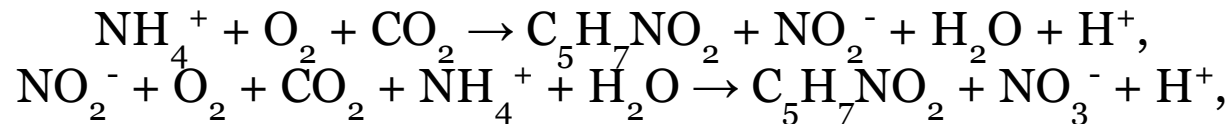
Обычно внутри бактериальной клетки концентрация растворенных веществ больше, чем во внешней среде. Эта разность создает осмотическое давление позволяющее проникать в клетку питательным веществам.

Когда микробная клетка находится в дистиллированной воде, вода проникает внутрь клетки, затем клетка погибает; если клетка находится в очень концентрированном растворе, то вода уходит из клетки, что тоже влечет за собой ее гибель (**явление плазмолиза**).

Питание микроорганизмов

По способу питания микробы делятся на 2 группы:

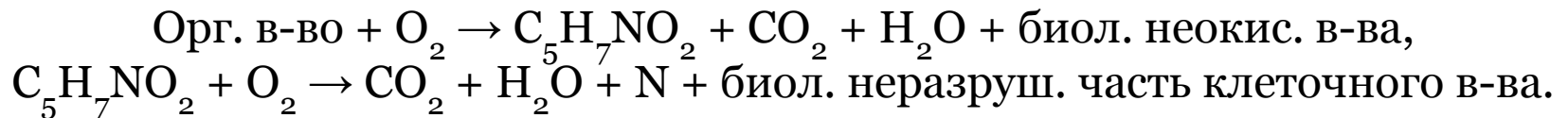
1. **Автотрофы** (аυτοζ – сам, τροφή – пища) – к ним относятся бактерии, водоросли, использующие углерод неорганических соединений (из CO₂ и карбонатов) – железобактерии:



где C₅H₇NO₂ – символ органического состава клетки микроорганизма.

Питаются микроорганизмами (бактерии, простейшие), частицами взвешенных органических веществ.

2. **Гетеротрофы** – микроорганизмы, использующие для синтеза органических веществ своего организма углерод органических соединений:



В свою очередь они делятся на:

- сапрофиты («сапро» - гнилой) – грибы;
- паразиты (развиваются в живых организмах) – патогенные микроорганизмы.

При обмене веществ (питании клеток) питательные вещества проникают через мембрану, а в случае простейших и колониальных – через пищевую вакуоль.

Катализаторами этих биохимических реакций являются ферменты – биокатализаторы, влияющие только на узконаправленные процессы:

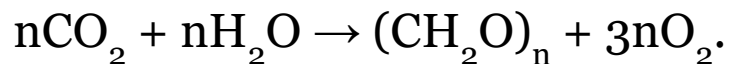
- **оксидоредуктазы** – ферменты, ускоряющие ОВР;
- **гидролазы** – реакции с водой;
- **изомеразы** – реакции изомеризации.

Экзоферменты – ферменты, выделяемые клеткой для расщепления сложных органических соединений до прохождения через мембрану, т.е. пищеварение начинается до проникновения внутрь клетки.

В основе жизнедеятельности микроорганизмов лежит конструктивный (построение новых клеток) и энергетический обмен. Необходимую энергию клетки получают при биохимических превращениях химических веществ с высокой потенциальной энергией.

Энергетические процессы микроорганизмов

1. **Фотосинтез.** В мире микроорганизмов энергию света используют водоросли, некоторые бактерии и простейшие. Фотосинтез водорослей сопровождается выделением кислорода, донором водорода в данном случае служит вода



Фотосинтез бактерий (фоторедукция) не сопровождается выделением O_2 и донором водорода является не вода, а другие вещества



2. **Хемосинтез.** Некоторые микроорганизмы используют энергию, выделяющуюся при окислении неорганических соединений.

В природных и сточных водах наиболее распространены следующие группы микроорганизмов:

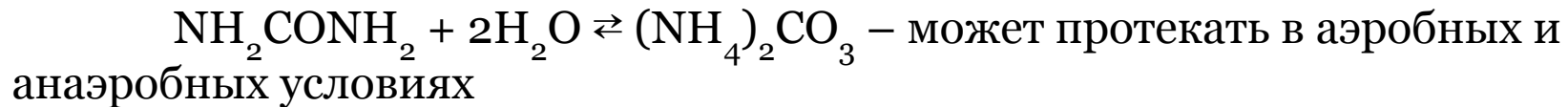
а) **Нитрирующие бактерии**, получающие энергию за счет окисления NH_3 в HNO_2 и HNO_3 :



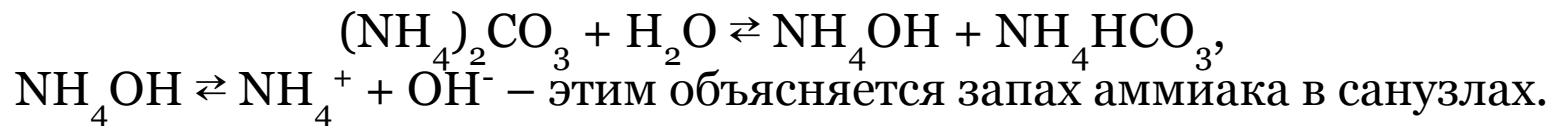
В природе существуют микроорганизмы, вызывающие процесс **денитрификации** – это анаэробный процесс



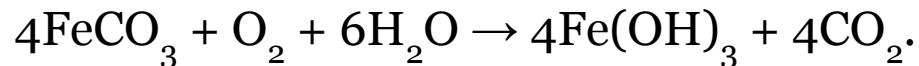
Под влиянием микроорганизмов в канализационной сети происходит гидролиз мочевины, являющейся продуктом белкового обмена веществ в животном организме



Далее:



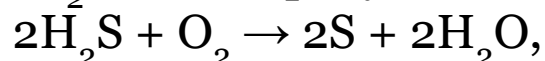
б) **Железобактерии** получают энергию в результате окисления солей железа



Нитчатые железобактерии развиваются в водопроводных трубах, вызывая их закупорку.

в) **Бесцветные серобактерии** используют энергию окисления H_2S и S . Микроорганизмы, принимающие участие в превращении соединений серы, подразделяются на окисляющие соединения серы и восстанавливающие их.

- **Окислению** подвергаются H_2S и S (в присутствии органических веществ):

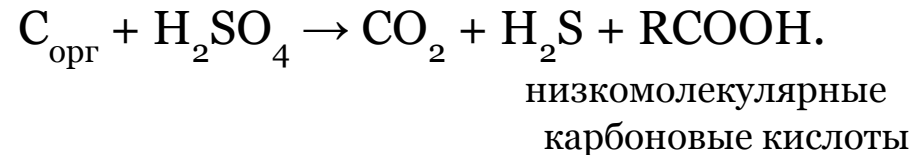


Серобактерии – постоянные обитатели очистных сооружений, их способность откладывать S внутри клеток при достаточном количестве H_2S позволяет использовать их в качестве индикатора качества очистки сточных вод. При плохой очистке создаются анаэробные условия, сохраняется H_2S , клетки серобактерий заполняются серой, при хорошей очистке сера в клетках окисляется.

- Микробиологическое **восстановление** сульфатов – основной путь образования H_2S в природе, осуществляется сульфатвосстанавливающими бактериями.

Сульфатвосстанавливающие бактерии встречаются преимущественно в местах, где происходит анаэробный процесс распада органических веществ (в частях канализационных сооружений, не омываемых сточной жидкостью).

Есть бактерии, приспособленные к использованию жирных кислот, оксикислот, спиртов и т.д.



В присутствии денитрифицирующих серобактерий $\text{NO}_3^- + \text{S} + \text{CO}_3^{2-} \rightarrow \text{SO}_4^{2-} + \text{CO}_2 + \text{N}_2$.

Сульфатвосстанавливающие бактерии участвуют в образовании лечебной грязи, серных месторождений и сульфидных руд, но являются причиной замора рыбы в водоемах и коррозии трубопроводов в анаэробных условиях.

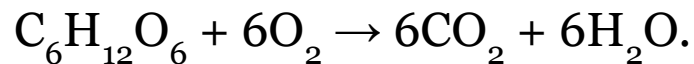
Дыхание микроорганизмов

В микробиологии под термином «дыхание» подразумевается биологическое окисление, сопровождающееся выделением энергии.

По способу дыхания микробы делятся на:

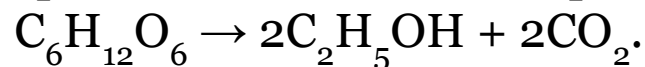
- аэробные;
- анаэробные;

Факультативные (живут в аэробных и анаэробных условиях. Аэробные микроорганизмы живут в присутствии свободного кислорода, конечными продуктами жизнедеятельности являются CO_2 и H_2O



За этим скрыта сложная цепь ферментативных превращений, одинаковая для животных, растений и микроорганизмов.

Дыхание **анаэробов** идет без участия молекулярного кислорода. Они получают энергию за счет расщепления сложной органической молекулы на более простые вещества (а не CO_2 и H_2O), при этом выделяется энергия



Брожением называется процесс анаэробного разложения углеводов и близких им веществ на продукты, не подвергающиеся разложению системой ферментов без участия молекулярного кислорода.

Факторы внешней среды, влияющие на развитие микроорганизмов



1. **Факторы роста** – это вещества, которые не могут синтезироваться микроорганизмами в достаточном количестве, поэтому они получают их в готовом виде. Эти недостающие вещества могут быть как азотсодержащими веществами, так и S- и P-соединениями. При их недостатке микроорганизмы погибают, в этом случае их называют **ауксотрофными** по этому соединению. Микроорганизмы, не нуждающиеся в этом веществе, называются **прототрофными**.

2. **Влажность**. При отсутствии влаги жизнь микроорганизмов невозможна, т. к. их жизнедеятельность протекает в присутствии воды. Но некоторые виды микробов, так называемые ксерофильные, могут жить и при незначительной влажности.

3. **Температура.**

Микробы развиваются при определенных температурах:

- психрофильные – при низких температурах (-8 ... +10 °С);
- мезофильные – при средних температурах (+25 ... +40 °С);
- термофильные – при высоких температурах (+40 ... +65 °С).

Некоторые микробы развиваются до +70 °С, до абсолютного 0 °С. Все погибают при 120 °С, 2 атмосферах в течение 20 ...30 минут.

4. **Механические факторы.** Выдерживают давление до 20 тыс. атмосфер в течение 45 минут. Для них губительны ультразвук, техническое растирание, сотрясение.

5. **Лучистая энергия.** УФ-излучение для микроорганизмов губительно.

6. **Активная реакция среды.** Микроорганизмы очень чувствительны к изменениям рН среды, так как эти изменения тесно связаны с изменениями активности ферментов. Наиболее благоприятным условием является рН \approx 7. Кислая среда является более губительной.

Санитарная микробиология воды

Санитарно-бактериологической оценке качества воды подвергают:

- воды централизованного водоснабжения и водопроводных сетей;
- воды колодцев и родников;
- открытых водоемов (рек, озер);
- сточные воды;
- воды плавательных бассейнов;
- минеральные воды.

Санитарно-бактериологическая оценка качества воды включает определение двух показателей:

- общего числа бактерий (микробное число),
- коли-титр (или коли-индекс).

Определение общего числа бактерий (**микробное число**) заключается в следующем: подсчитывается число колоний микроорганизмов, вырастающих в течение 24 ч при температуре 37 °С, при посеве 1 мл исследуемой воды в стандартную питательную среду. Этот показатель определяет степень бактериального загрязнения воды (но не учитывает все виды населяющих бактерий, не растущих в данной питательной среде, анаэробы). Таким образом, **для определения загрязнения воды подсчитывается количество микроорганизмов при $t=37$ °С (температура жизнедеятельности живых организмов), а для оценки самоочищения водоемов тот же анализ проводят при $t=22$ °С (температура водоемов в летнее время)**. Для оценки микрофлоры водоемов в целом также проводят прямой микроскопический подсчет микроорганизмов. Но этот метод нельзя использовать для оценки работы очистных сооружений, т.к. при этом в расчет входят и мертвые микроорганизмы.

Для определения наличия патогенных микробов (которых великое множество) проводят анализы на бактерии *Coli* (*кишечная палочка*). Результат определения количества палочек в воде выражают двояко:

- **коли-титр** – объем воды в мл, в котором содержится одна кишечная палочка;

- **коли-индекс** – число кишечных палочек, содержащихся в 1 л исследуемой воды

$$\text{коли-индекс} = 1000 / \text{коли-титр.}$$

Способность гидробионтов жить в воде с определенной степенью загрязнения органическими соединениями называется **сапробностью**.

Все воды по степени загрязнения делятся на 4 категории (зоны):

1. **Зона сильного загрязнения (полисапробные)** – в том случае, когда в 1 мл воды число бактерий достигает 1000000. Здесь, в богатой органикой воде, протекают реакции гниения анаэробного типа.
2. **Зона средней загрязненности (мезосапробные)** – в том случае, когда в 1 мл воды число бактерий достигает 100000. В данном случае протекают реакции минерализации с преобладанием окислительных процессов.
3. **Зона чистой воды (олигосапробные)** считается в том случае, когда в 1 мл воды число бактерий от 1000 до 10000. В данной зоне преобладают реакции окисления NO_2^- до NO_3^- .

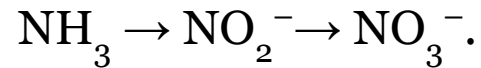
По месту обитания в водоеме различают два вида биоценоза:

- **бентос** (совокупность организмов, заселяющих дно и подводные предметы),

- **планктон** (растительные и животные организмы, находящиеся во взвешенном состоянии).

Виды взаимоотношений микроорганизмов:

1. **Метаболизм** – одни микроорганизмы в результате жизнедеятельности создают благоприятные условия для других. Например, деятельность нитрирующих бактерий влечет за собой преобразование по типу



2. **Антагонизм** – микроорганизмы в результате своей жизнедеятельности мешают или вредят другим организмам. Например, плесневые бактерии вырабатывают антибиотики, губительные для паразитов.

3. **Симбиоз** – сообщество микроорганизмов, существующих по принципу обоюдной пользы. Например, бобовые и азотфиксирующие бактерии.

Биохимические методы очистки сточных вод

1. Аэробные процессы очистки сточных вод

Биологическая очистка сточных вод может производиться как в естественных, так и искусственных условиях.

Почвенная очистка сточных вод производится на полях фильтрации и полях орошения, основное отличие которых заключается в том, что на первых происходит только очистка сточных вод, а на вторых — и выращивание сельскохозяйственных и технических культур.

Сущность метода почвенной очистки состоит в фильтрации сточных вод, содержащих органические вещества, через слой почвы. При этом под воздействием физических, химических и биологических факторов сточная жидкость освобождается от загрязняющих веществ.

Активный фильтрующий слой образуется на поверхности почвы в течение 1—2 недель (в зависимости от климатических условий) в результате задержки взвешенных и коллоидных веществ, содержащихся в сточной жидкости, и заселения этого слоя огромным количеством аэробных микроорганизмов.

В этом слое почвы толщиной 20—40 см накапливаются взвешенные, коллоидные и растворенные вещества, а также микроорганизмы и яйца гельминтов.

Толщина активного слоя почвы может достигать 1,5—2 м, но самые активные процессы протекают в верхнем слое почвы. На глубине 40 см суммарная поверхность микроорганизмов биологической пленки достигает 48 000 м².

Основные обитатели биологической пленки, образовавшейся на поверхности частичек почвы, — бактерии, осуществляющие процесс биохимического окисления органических веществ. Кроме того, в почве активно развиваются простейшие, грибы, коловратки, личинки насекомых и другие организмы.

Почвенные микроорганизмы, функционирующие в стабильных условиях, практически полностью освобождают сточные воды от патогенных форм. На полях орошения эффект очистки сточных вод повышается за счет изъятия биогенных элементов сельскохозяйственными культурами.

Общий эффект почвенной очистки по БПК₅ составляет 93-95%, по взвешенным веществам — до 99,65%, а патогенные микроорганизмы и гельминты уничтожаются практически полностью.

Биологические пруды — это естественные или искусственные водоемы глубиной около 1 м и площадью от 0,5 до 1,5 га.

Биологические пруды бывают одиночными и серийными, состоящими из последовательной цепочки биологических прудов, количество которых может достигать 4—5. Сточная жидкость, перетекая из одного пруда в последующие, подвергается более глубокой и стабильной очистке. **Биологические пруды служат, как правило, для глубокой очистки предварительно очищенных сточных вод.**

Биоценоз этих прудов представлен в основном бактериями, простейшими, коловратками и низшими ракообразными, обитающими в α - и β -мезосапробных условиях водоема. Большую роль в процессе очистки играют водоросли (протококковые, вольвоксовые, эвгленовые), изымающие биогенные элементы и снабжающие биопруды дополнительным кислородом.

В некоторых биопрудах имеется высшая водная растительность (камыш, рогоз, уруть, водный гиацинт и т.п.), которая также активно извлекает из очищаемой воды биогенные элементы и токсичные примеси (соли тяжелых металлов, фенолы, нефтепродукты и т.д.). Кроме того, на стеблях высшей водной растительности появляются биообрастания, увеличивающие общее количество активной биомассы.

Высшая водная растительность и некоторые водоросли выделяют природные фитонциды, пагубно влияющие на патогенные организмы. В донном иле биологических прудов активно развиваются личинки насекомых, например, численность мотыля может достигать 90 000 на 1 м². В сутки каждая особь мотыля может перерабатывать иловую массу, в 4-6 раз превышающую массу собственного тела.

Для удаления из биологического пруда обильно развивающихся в нем водорослей и растений в них запускаются рыбы (каarp, сазан, толстолобик и др.) и утки, для которых ряска является основным кормом. **Общий эффект очистки сточных вод в биопрудах по БПК₅ может достигать 98%.**

На искусственно созданных очистных сооружениях сточных вод после отделения основной массы взвешенных веществ на сооружениях механической очистки происходит биохимическая очистка воды в аэробных или анаэробных условиях. При этом органические загрязнения, присутствующие в сточной жидкости в форме коллоидов, истинных растворов или мельчайшей взвеси, сначала сорбируются на активной биомассе в течение очень короткого времени (несколько секунд или минут), а затем подвергаются биохимическому разложению, что может длиться несколько часов.

На современных сооружениях биохимической очистки существуют два вида активной биомассы — активный ил и биологическая пленка.

Аэротенки — это основные сооружения для искусственной очистки хозяйственно-бытовых и производственных сточных вод. Классический аэротенк представляет собой железобетонный резервуар с рабочей глубиной 4-6 м, разделенный не доходящими до противоположного конца сооружения стенками на 2—4 коридора. По днищу каждого коридора размещается аэрационная система из фильтросных пластин или дырчатых труб, в которую подается воздух для снабжения активного ила кислородом, поддержания его во взвешенном состоянии и равномерного распределения по всему объему очищаемой сточной жидкости. **Обычно в аэротенке концентрация растворенного кислорода поддерживается на уровне 2-4 мг/дм³. Критическая концентрация кислорода — 0,5 мг/дм³.**

Активный ил — это сложная экосистема, включающая большое количество представителей микрофлоры и микрофауны. Он представляет собой частицы (**хлопки**), населенные различными группами микроорганизмов — аэробов и факультативных анаэробов.

Каждый хлопок активного ила представляет собой структурированную коллоидную систему, обладающую высокой сорбционной способностью, в нем обитают разнообразные микроорганизмы воды и почвы, образующие сложный биоценоз.

Основная часть активного ила — это гетеротрофные бактерии, которые в процессе очистки воды образуют слизистые скопления — **зоогели**, характерные для хорошо сформированного активного ила. В зоогелях преобладают кокковые и палочковидные формы.

Количество бактерий в процессе очистки увеличивается пропорционально количеству изъятых загрязнений, определяемого БПК.

Кроме бактерий в активном иле присутствуют грибы — в основном плесневые многоклеточные; одноклеточные и дрожжи.

Из простейших в активном иле обитают жгутиковые; саркодовые — в основном голые и раковинные корненожки; инфузории (кругоресничные, равноресничные, спиралересничные и сосущие) — главные индикаторные микроорганизмы активного ила аэротенка; коловратки; малошетиновые черви (олигохеты); иногда встречаются водные клещи.

Представители микрофауны и простейших питаются в основном бактериями, что стабилизирует процесс биохимической очистки и делает его более полным.

При стабильной работе аэротенка, когда соблюдается кислородный режим, отсутствуют токсичные примеси (нефтепродукты, соли тяжелых металлов, ПАВ, ядохимикаты и другие вещества, оказывающие угнетающее воздействие на биоценоз активного ила), в активном иле преобладают брюхожесничные инфузории.

Наименее чувствительны к отрицательным воздействиям равноресничные инфузории. При дефиците питательных веществ (**голодающий ил**) размеры инфузорий уменьшаются, и они начинают инцистироваться. В активном иле, перегруженном органическими примесями, развиваются сосущие инфузории.

В активном иле в период завершения окисления органических веществ и протекания процесса нитрификации в большом количестве развиваются прикрепленные инфузории, раковинные и крупные голые амебы. Довольно часто встречаются коловратки. Водные клещи и рачки (циклопы) развиваются в голодающем иле.

Способность отдельных групп микрофауны развиваться при определенных условиях используется для проведения гидробиологического анализа.

При **хорошей работе аэротенка** (достаточное количество кислорода, отсутствие токсичных примесей и т.д.) в его активном иле, очищающем хозяйственно-бытовые сточные воды, встречаются кольчатые и круглые черви, щетинковые, коловратки, мушки и ее куколки, а также водные клещи.

При **плохой работе аэротенка** в активном иле присутствуют индикаторные микроорганизмы.

В процессе очистки сточных вод в аэротенке (изменения качества очищаемой сточной жидкости — от места ее впуска в аэротенк до места выпуска) изменяется биоценоз активного ила.

Три последовательных трофических уровня, соответствующих основным фазам роста ила:

1. **фаза логарифмического роста ила** (300 мг БПК на 1 г ила); доминируют гетеротрофные бактерии и сапрозойные простейшие;
2. **фаза замедленного роста ила с переходом в стационарную** (100-300 мг БПК на 1 г ила); доминируют голозойные свободноплавающие инфузории и коловратки, питающиеся бактериями и сапрозойными простейшими;
3. **фаза отмирания ила** (менее 100 мг БПК на 1 г ила); доминируют прикрепленные инфузории, коловратки и черви, питающиеся голозойными инфузориями и иловыми частицами, количество бактерий при этом значительно уменьшается.

Способность активного ила к осаждению характеризуется **иловым индексом**, который определяется по объему ила, образующегося после 30-ти минутного отстаивания жидкости, содержащей 3 мг/дм³ ила.

Иловый индекс – соотношение между объемом (мл) ила и массой сухого вещества, содержащегося в 1 г ила.

При хорошей работе аэротенка иловый индекс составляет 100–120 мл/г.

Повышение илового индекса до 150-200 мл/г свидетельствует о нарушении работы аэротенка.

После очистки смесь сточной жидкости и активного ила поступает во вторичный отстойник, где происходит осаждение активного ила. Часть активного ила поступает на сооружения обработки осадка, другая часть (от 30 до 70 %) — в регенератор.

Регенерация происходит в одном из коридоров аэротенка и заключается в усиленной аэрации ила для завершения окисления сорбированных органических веществ, восстановления активности ила и его омоложения.

Биологические фильтры — это резервуары, расположенные на поверхности земли и заполненные инертным нетоксичным загрузочным материалом, на котором развивается биологическая пленка.

Раньше в качестве загрузочного материала применялся гравий или щебень различной крупности, но с середины XX в. стали использоваться так называемые плоскостные загрузочные материалы, изготовленные в основном из пластмасс. Внедрение плоскостных загрузочных материалов позволило увеличить удельную поверхность биообращения с 40-50 м²/м³ до 100-250 м²/м³, увеличить высоту слоя загрузочного материала до 6-8 м.

При орошении поверхности загрузочного материала сточной жидкостью, которая стекает по поверхности загрузочного материала, на этой поверхности образуется биологическая пленка. Воздух, необходимый для микроорганизмов биопленки, поступает через вентиляционные окна, расположенные в нижней части корпуса биофильтра, за счет естественной аэрации.

Биологическая пленка содержит все микроорганизмы, наблюдаемые в аэротенках. Кроме того, в биофильтрах присутствуют водоросли, в основном диатомовые: типично эпифитные (развивающиеся на других растениях) и донные формы.

Широко представлены в биопленке зеленые водоросли, в основном вольвоксовые, протококковые и улотриксковые. Более разнообразен в биопленке состав простейших, насекомых и их личинок, червей.

Высокая производительность биофильтров с плоскостным загрузочным материалом объясняется, в частности, высоким содержанием активной биомассы на единицу объема сооружения.

Для биофильтров с объемной загрузкой количество биопленки в 25—50 раз больше, чем в таком же объеме аэротенка. Еще больше активной биомассы на единицу объема содержится в биофильтре с плоскостным загрузочным материалом. Средняя влажность биопленки биофильтра— 82,5 %, плотность по сухому веществу — 1,4 т/м³ (плотность по сухому веществу биопленки совпадает с теоретически вычисленной: поскольку средняя плотность бактериальной клетки в естественном состоянии — 1,08 г/см³, а среднее содержание влаги — 80 % (от 70 до 90 %), то плотность бактериальной клетки по сухому веществу в среднем, равна 1,4 т/м³). Отсюда количество биомассы по сухому веществу на 1 м² поверхности загрузочного материала при толщине биопленки 1 мм будет равна 0,245 кг. Толщина биопленки в биофильтре может достигать 3 и даже 3,8 мм.

Таким образом, на загрузочном материале с удельной поверхностью $220 \text{ м}^2/\text{м}^3$ при толщине биопленки всего 1 мм развивается биомасса, доза которой по сухому веществу составляет $53,9 \text{ кг}/\text{м}^3$.

Необходимо также отметить, что биоценоз биопленки биофильтров всегда разнообразнее, чем биоценоз активного ила, что способствует более полному изъятию многокомпонентного субстрата загрязнений из сточных вод.

С увеличением толщины биопленки происходит увеличение ее производительности на единицу поверхности биообрастания по изъятию загрязнений из сточных вод. **Максимального значения — $375 \text{ мг ХПК}/\text{час}$ — величина изъятия загрязнений достигает при толщине биопленки $0,2 \text{ мм}$ и далее остается постоянной.** Учитывая, что толщина биопленки в биофильтрах с плоскостной загрузкой во всех известных случаях не менее $0,5 \text{ мм}$, можно сделать вывод, что **биофильтры работают в стабильном режиме, с максимальной производительностью по изъятию загрязнений.**

Исследователи отмечают лучшие седиментационные качества биопленки из биофильтра с плоскостным загрузочным материалом по сравнению с объемным, и значительно лучшие, по сравнению с активным илом аэротенков.

Компостирование — это экзотермический процесс биологического окисления, в котором органический субстрат подвергается аэробной биодegradации смешанной популяцией микроорганизмов в условиях повышенной температуры и влажности. В процессе биодegradации органический субстрат претерпевает физические и химические превращения с образованием стабильного гумифицированного конечного продукта. Этот продукт представляет ценность для сельского хозяйства и как органическое удобрение, и как средство, улучшающее структуру почвы.

Компостированию подлежат органические отходы бытового мусора, сельскохозяйственные отходы, активный ил, навоз и т.п.

Важными параметрами процесса являются соотношение углерода и азота и мультидисперсность субстрата, необходимая для нормальной аэрации. Навоз, сырой активный ил и многие растительные отходы имеют низкое отношение углерода к азоту, высокую влажность и плохо поддаются аэрации. Их необходимо смешивать с твердым материалом, сорбирующим влагу, который обеспечит необходимый углерод и нужную для аэрации структуру смеси. Лучший вариант такой добавки — солома, могут быть использованы также щепки, мусор, листья, опилки и даже измельченные автомобильные покрышки.

Процесс компостирования представляет собой сложное взаимодействие между органическими отходами, микроорганизмами, влагой и кислородом. В отходах обычно существует своя смешанная эндогенная микрофлора. Микробная активность возрастает, когда содержание влаги и концентрация кислорода возрастает до необходимого уровня.

Кроме кислорода и воды для роста и размножения микроорганизмов необходимы источники углерода, азота, фосфора, калия и определенные микроэлементы. Эти потребности часто покрываются веществами, содержащимися в отходах, но иногда некоторые элементы приходится добавлять.

Часть энергии, вырабатываемой при биологическом окислении углеродсодержащих компонентов, расходуется в метаболических процессах, другая часть выделяется в виде тепла.

Температура внутри компостной кучи может достигать 70 °С.

Конечный продукт (компост) содержит наиболее стабильные органические соединения, продукты распада, биомассу мертвых микроорганизмов, некоторое количество живых и продукты химического взаимодействия этих компонентов.

Основные группы микроорганизмов, принимающих участие в процессе компостирования

Микрофлора	Бактерии	Множество форм — кокки, палочки, нитчатые. Некоторые формы спорулируют. Размеры 1-8 мкм
	Актиномицеты	Образуют тонкий разветвленный мицелий. Растут предпочтительно при повышенной температуре и пониженной влажности. Диаметр гиф 0,5-2 мкм
	Грибы, дрожжи	Образуют мицелий (дрожжи — псевдомицелий) и спорулируют. Множество видов. Наибольшее значение имеют термофилы. Размеры 3-50 мкм
	Водоросли	Предпочитают влажные условия. Размеры 10-100 мкм
	Вирусы	Живут на организмах-хозяевах бактериях или актиномицетах. Размер 0,1 мкм
Микрофауна	Простейшие	Перемещаются с помощью жгутиков или ресничек, некоторые питаются бактериями. Размеры 5-80 мкм
Макрофлора	Высшие грибы	Растут на кучах компоста, образуя плодовые тела. Диаметр шляпки плодового тела около 25 мм
Макрофауна	Двупароногие, многоножки	Двупароногие, в основном, растительноядные. Многоножки — хищники. Длина двупароногих 20-40 мм, многоножек — 3С мм
	Клещи,	Множество видов. Одни хищные, другие — растительноядные. Размеры 0,1-2 мм
	Черви, муравьи, термиты, пауки и жуки	Навозный червь (<i>Eisenia foetida</i>) весьма важен для компостирования навоза. Размер 30-100 мм

В процессе компостирования принимает участие более 2000 видов бактерий и не менее 50 видов грибов. Эти виды можно подразделить на группы по температурным интервалам процесса, в которой каждая из них активна: для психрофилов предпочтительна температура ниже 20 °С, для мезофилов — от 20 до 40 °С и для термофилов свыше 40 °С. Как правило, на последней стадии компостирования преобладают мезофиллы.

Органические отходы промышленного, сельскохозяйственного или коммунального происхождения

<i>Фракция</i>	<i>Содержание, %</i>
Водорастворимые соединения (сахара, крахмал, аминокислоты, аммонийные соли)	2-30
Соединения, растворимые в эфире и спирте (жиры, масла, воски)	1-15
Белок	5-40
Гемицеллюлоза	10-30
Целлюлоза	15-60
Лигнин	5-30
Зола	5-25

Разложение органических отходов в процессе компостирования — сложный динамический процесс, в котором постоянно изменяются температура и состав питательных веществ.

Технологические параметры процесса компостирования органических отходов

Параметр	Требования
Отношение C/N в субстрате	От 25/1 до 30/1
Размер частиц субстрата	12,5 мм для систем с перемешиванием и принудительной аэрацией, 50 мм — для компостных куч с естественной аэрацией
Влажность	50-60%, большие значения возможны при использовании наполнителей
Свободный объем (пористость)	Около 30%
Аэрация	0,6-1,8 м ³ воздуха в сутки на 1 кг летучей части твердых веществ, или поддержание концентрации O ₂ в пределах 10-18%
Температура	55 °С
Перемешивание	Без перемешивания, при периодическом переворачивании в простых системах. Короткие периоды энергичного перемешивания в механизированных системах
Размеры компостной кучи	Любая длина, высота до 1,5 м и ширина до 2,5 м для куч и компостных рядов с естественной аэрацией. В случае принудительной аэрации размеры кучи произвольные, но должны исключить перегрев компоста

Соотношения C/N для отдельных возможных компонентов компостной кучи

<i>Компонент</i>	<i>Соотношение C/N</i>
Моча	0,8
Высушенная кровь	3
Нечистоты, фекалии, сырой активный ил	8
Костная мука	8
Навоз	14
Отходы пивоварения	15
Водяной гиацинт	16
Трава, сорняки	20
Твердые отбросы	35
Листья	60
Пшеничная солома	80
Рисовая солома	100
Сырые древесные опилки	500
Бумага	80

Аэробная стабилизация осадков — процесс окисления избыточного активного ила или его смеси с осадком первичных отстойников в сооружениях аналогичных аэротенкам. При этом окисляются как сорбированные на активном иле загрязнения, так и сами микроорганизмы — в основном за счет автолиза, т.е. саморастворения и распада тканей организма под влиянием фермента, находящегося в этом же организме.

Процесс аэробной стабилизации протекает в одну стадию:



с последующим окислением NH_3 до No_2 .

Процесс от 2-5 сут. для уплотненного активного ила до 8-12 сут. для смеси уплотненного активного ила и осадка. Температурный режим от 10 до 42 °С. При температуре менее 8 °С процесс прекращается.

Средний распад органических веществ в процессе стабилизации составляет 10—50 %, при этом жиры распадаются на 65-75 %, белки на 20-30 %, а углеводы практически не распадаются. Снижение патогенных микроорганизмов составляет 70-90 %, но яйца гельминтов не погибают.

В процессе аэробной стабилизации выделяется большое количество тепла, что позволяет поднимать температуру в стабилизаторе до 50-60 °С и проводить процесс в термофильном режиме. Термофильный режим позволяет проводить процесс аэробной стабилизации глубже и в более короткие сроки. Однако при термофильном режиме за счет плохой растворимости кислорода в воде приходится применять механические аэраторы. В результате аэробной стабилизации получается осадок, мало подверженный гниению, подготовленный к дальнейшей утилизации.

Анаэробные процессы очистки сточных вод

Анаэробные методы применяются как сооружения малой канализации, в том числе индивидуальные; для предварительной очистки концентрированных по органическим загрязнениям сточных вод некоторых производств; для обработки осадков из первичных отстойников и избыточного активного ила аэротенков.

В сельской местности, для индивидуальных домов, коттеджей, санаториев для удаления из сточных вод взвешенных веществ и их частичного разложения используются септики и двухъярусные отстойники.

Септик (гнилостный отстойник) представляет собой резервуар, объем которого рассчитан на пребывание сточной жидкости в течение 1-4 суток. Септик может быть одно- или многокамерным. Выпавший в септике осадок подвергается анаэробному разложению в течение 6-12 месяцев, уплотняясь и обеззараживаясь.

Недостатком септика является образование на поверхности очищаемой сточной жидкости толстой корки, состоящей из флотированных на поверхность газами брожения иловых частичек. Образование корки приводит к насыщению сточной жидкости продуктами распада органических загрязнений, что затрудняет ее дальнейшую очистку.

В отличие от септика двухъярусные отстойники (**эмшеры**) имеют отдельные зоны осаждения и сбраживания осадка, что препятствует повторному загрязнению сточных вод.

Для очистки содержащей сильную концентрацию органических загрязнений сточной жидкости от птицеферм и животноводческих комплексов используются анаэробные лагуны — глубокие земляные канавы. В септиках и двухъярусных отстойниках процесс сбраживания осадка проходит в психрофильных температурных условиях (до + 20 °С).

Основным сооружением для проведения анаэробных биохимических процессов очистки содержащих сильную концентрацию органических загрязнений отходов являются метантенки.

Метантенки — закрытые герметичные резервуары глубиной 3—5 м, снабженные устройствами для впуска несброженного осадка, его перемешивания и подогрева и выгрузки сброженного осадка. Метантенки работают в режиме мезофильного (30-35 °С) и термофильного (50—55 °С) брожения. Ежедневно в метантанк подается от 3 до 11% несброженного осадка и столько же удаляется.

В процессе брожения образуется газ, состоящий на 70—75 % из метана и на 20—25 % из углекислого газа (диоксида углерода), который отводится в емкость для хранения — газгольдер. Сброженный осадок подается на иловые площадки для естественной сушки или в цех механического обезвоживания.

Процесс сбраживания осадков называют метановым, так как метан — один из конечных продуктов брожения.

Метанобразующие бактерии играют важную роль в круговороте веществ и энергии в природе, ассимилируя двуокись углерода, окись углерода и водород и образуя из них углеводород, метан и свое клеточное вещество.

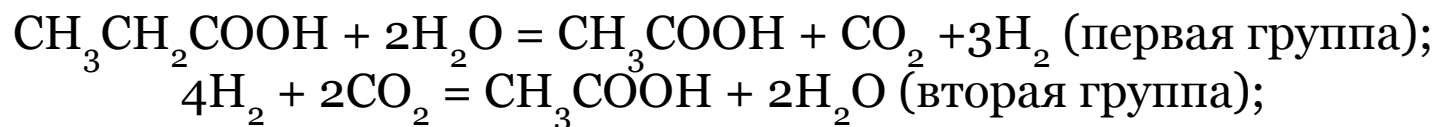
Раньше процесс анаэробного сбраживания разделялся на две фазы:

1) стадия кислого брожения, которая осуществлялась кислотообразующими бактериями;

2) стадия щелочного или собственно метанового брожения, которая осуществлялась метанобразующими бактериями.

Современные исследователи разделяют процесс метанового брожения на четыре взаимосвязанные стадии:

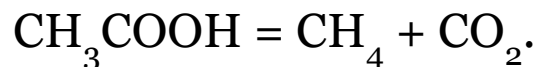
- 1. стадия ферментативного гидролиза** — гидролиз нерастворенных сложных органических соединений с образованием более простых растворенных веществ. Процесс происходит с участием факультативных анаэробов при рН среды 6,5—7,5;
- 2. стадия кислотообразования** — выделение летучих жирных кислот, аминокислот и спиртов. Процесс проходит с участием гетерогенных бактерий;
- 3. ацетатогенная стадия** — превращение летучих жирных кислот, аминокислот и спиртов в уксусную кислоту. Процесс проходит с участием двух групп ацетогенных бактерий: первая группа (ацетатогены) образует ацетаты с выделением водорода из продуктов предшествующих стадий, вторая (ацетогены, использующие водород) образует ацетаты, но и использует образовавшийся водород для восстановления диоксида углерода:



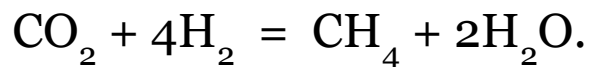
4. **метаногенная стадия** — образование метана строгими анаэробами.

Этот процесс проходит двумя путями, которые осуществляют две разных группы метаногенов.

Первый путь, в результате которого образуется 72 % метана, — расщепление ацетата:

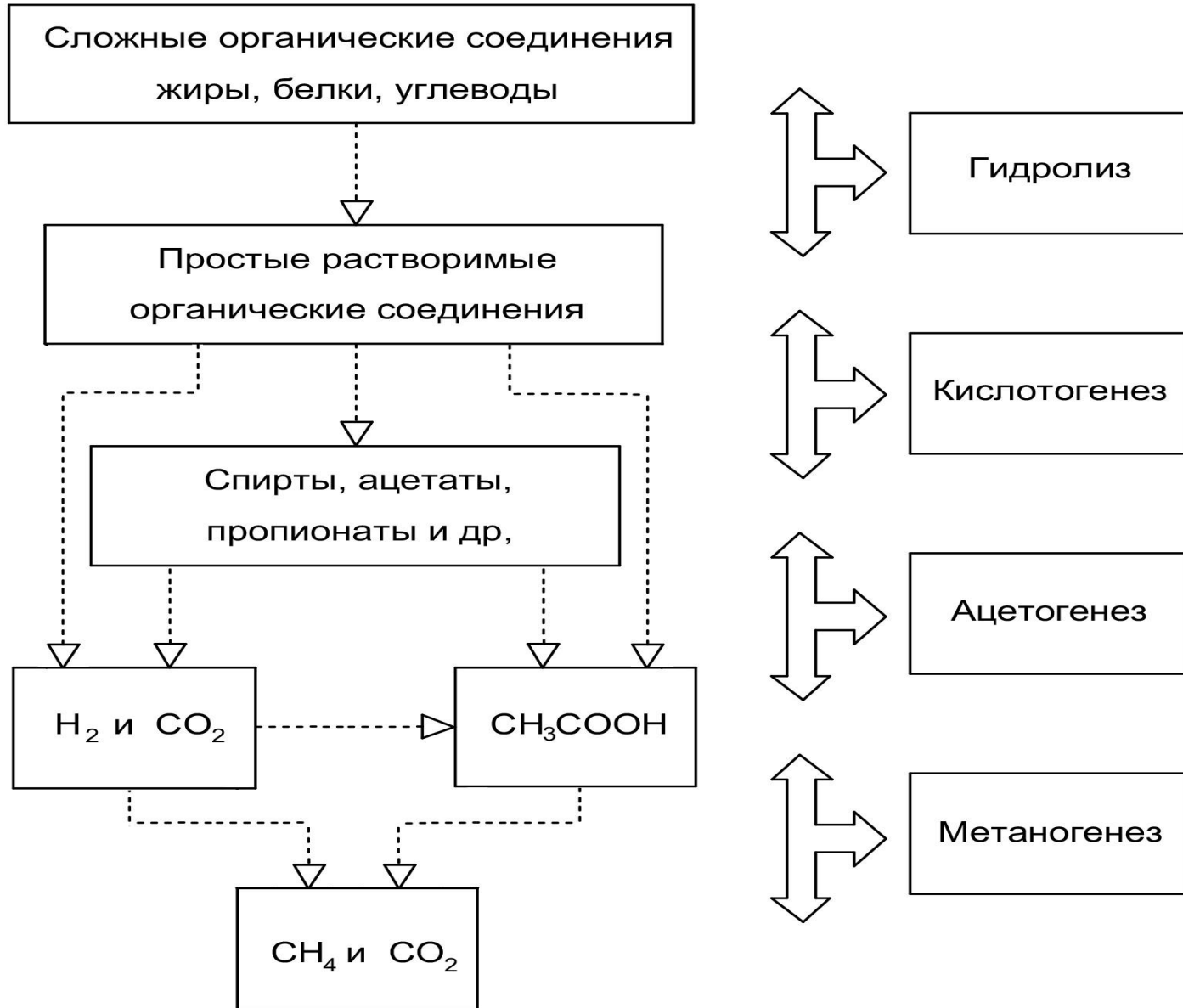


Второй путь, в результате которого образуется 28 % метана, — восстановление диоксида углерода:



При выборе температурного режима работы метантенка следует учитывать, что при термофильном процессе повышается производительность сооружения, уничтожаются яйца гельминтов и практически все патогенные микроорганизмы, однако последующая обработки осадка (его обезвоживание) более трудоемка, чем при мезофильном сбразивании.

Схема метанового брожения



Вопросы по лекции

В день лекции до 20:00 свои листочки с решениями загрузить в личный кабинет. Листы подписать (Фамилия И.О., группа).

Задание № 1. Дайте определения: автотрофы, гетеротрофы, бентос, планктон, коли-титр, коли-индекс.

Задание № 2. Перечислите основные виды взаимоотношений микроорганизмов.

Задание № 3. Приведите примеры микроорганизмов, обитающих в природных и сточных водах.

Задание № 4. Приведите примеры основных групп микроорганизмов, принимающих участие в процессе компостирования.

Задание № 5. Перечислите и поясните основные стадии процесса метанового брожения.