

Министерство сельского хозяйства Российской Федерации

**Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Саратовский государственный аграрный университет
имени Н.И. Вавилова»**

МИКРОБИОЛОГИЯ

краткий курс лекций

для студентов II курса

Направление подготовки
35.03.08 Водные биоресурсы и аквакультура

Профиль подготовки
Аквакультура

Саратов 2016

УДК 54
ББК 24.2
П93

Рецензенты:

Заведующая кафедрой «Общая и неорганическая химия», доктор химических наук,
профессор ГОУ ВПО «СГУ им. Чернышевского».

С.П. Муштакова

Заведующий кафедрой «Химия и основы экологии», кандидат химических наук,
профессор ФГОУ ВПО «Саратовский ГАУ»

А. А. Кольцов

П92

Микробиология: краткий курс лекций для студентов II курса
направления подготовки 35.03.08 «Водные биоресурсы и аквакультура» /
сост.: Щербаков А.А., // ФГБОУ ВО «Саратовский ГАУ». – Саратов, 2016. –
69 с.

Краткий курс лекций по дисциплине «Микробиология» составлен в соответствии с рабочей программой дисциплины и предназначен для студентов направления подготовки 19.03.08 «Водные биоресурсы и аквакультура». Краткий курс лекций содержит теоретический материал по основным вопросам микробиологии. Направлен на формирование у студентов знаний об особенностях жизнедеятельности микроорганизмов и их роли, на применение этих знаний для понимания процессов, происходящих в природе и в сфере профессиональной деятельности.

УДК 54
ББК 24.2

© Щербаков А.А.
© ФГБОУ ВПО «Саратовский ГАУ», 2016

ВВЕДЕНИЕ

Микроорганизмы представляют собой самую большую группу распространенных повсеместно живых существ на Земле. Как наука об определенном классе объектов и их разнообразии, микробиология аналогична таким дисциплинам, как ботаника и зоология. Она изучает функциональные возможности микроорганизмов и их взаимодействие с окружающей средой и другими организмами.

Объектами микробиологии являются разные группы живого мира: бактерии, археи, простейшие, микроскопические водоросли, низшие грибы, вирусы.

Микроорганизмы широко распространены в природе, особенно много их в почве, в воде и других средах, где всегда имеются необходимые для их жизнедеятельности питательные вещества и влага.

Вода является средой, в которой микроорганизмы не только сохраняются, но и активно размножаются.

В лекционном материале приведены сведения по физиологии, биохимии, экологии и генетике микроорганизмов, действие на них физических, химических и биологических факторов. Рассматриваются вопросы численности микрофлоры воды и иловых отложений, как в соленых водоемах, так и пресных, уделено внимание роли микроорганизмов в круговороте важнейших биогенных элементов. Освещены основы повышения рыбопродуктивности водоемов и влияние на этот показатель микрофлоры водоема.

Лекция 1

ВВЕДЕНИЕ В МИКРОБИОЛОГИЮ. МОРФОЛОГИЯ И СИСТЕМАТИКА МИКРООРГАНИЗМОВ.

1.1. Предмет и задачи микробиологии

Микробиология (от греческих слов: *micro*– малый; *bios*– жизнь; *logos*– учение) – наука, изучающая мельчайшие, невидимые простым глазом живые организмы, которых объединяет ряд общих признаков:

- имеют чрезвычайно малые размеры – от нескольких микрометров (мкм) до долей мкм. Микроорганизмы можно увидеть лишь в увеличительные приборы – микроскопы, последние модели которых дают увеличение объекта в 3 тыс. раз;
- вследствие малых размеров их изучают и культивируют однотипными методами;
- большинство объектов микробиологии являются одноклеточными организмами, однако встречаются и многоклеточные, но дифференциация клеток на органы и ткани у них отсутствует.

Основными объектами изучения микробиологии являются бактерии, актиномицеты, грибы, к которым относятся и дрожжи, микроскопические водоросли и некоторые простейшие. Ранее микробиология изучала также вирусы, различимые лишь в электронный микроскоп, дающий увеличение до 250-300 тыс. раз, затем вирусология выделилась в самостоятельную науку. Микробиология, изучает строение (морфологию), обмен веществ и другие физиологические функции микроорганизмов, их систематическое положение, распространение, роль в природе и в жизни человека.

Микроорганизмы широко распространены в природе; особенно много их в почве, где всегда имеются необходимые для жизнедеятельности микроорганизмов питательные вещества и влага. Почва предохраняет микроорганизмы от губительного действия солнечных лучей. Наиболее интенсивное развитие микроорганизмов наблюдается в удобренной почве, например в 1 г плодородной садовой почвы содержатся миллиарды различных микроорганизмов – спорообразующих и неспороносных бактерий, миксобактерий, актиномицетов, грибов и т. д. Даже пески пустынь населены микроорганизмами. Качественный состав микрофлоры почвы зависит от типа почвы. Благодаря жизнедеятельности микроорганизмов отмершие животные и растительные остатки в почве вновь превращаются в минеральные вещества, необходимые для питания растений. В почве микроорганизмы могут длительное время сохранять жизнеспособность, особенно в высушенном виде или при пониженной температуре.

Вода является средой, в которой микроорганизмы не только сохраняются, но и активно размножаются. Она служит таким же естественным местом их обитания, как и почва. Водная оболочка Земли – гидросфера включает Мировой океан, континентальные водоемы и подземные воды.

Водоемы различаются по условиям, имеющимся в них в целом, например бывают водоемы пресные, соленые и т. п. Кроме того, в самих водоемах имеются зоны, различающиеся по степени аэрации, освещенности, концентрации восстановленных соединений серы, солей железа, растворенных газов и т. п. К каждой из таких зон приурочено развитие определенной физиологической группы микроорганизмов. Зоны, заселенные специфической микрофлорой, называются *биотопами* или *экологическими нишами*.

Микроорганизмы обитают в организме человека, на слизистых оболочках, коже, особенно много их в пищеварительном тракте.

Имеются микроорганизмы и в воздухе, хотя из-за недостатка питательных веществ и влаги, а также действия ультрафиолетовых лучей он является наименее благоприятной средой для развития микроорганизмов. В воздухе они практически не размножаются, а

попадают в него с пылью, атмосферными осадками, например при тумане, а также переносятся насекомыми. Токами воздуха микроорганизмы заносятся в стратосферу на высоту 20 км и более. Количество микроорганизмов в 1 м³ воздуха колеблется от нескольких единиц до многих десятков тысяч и обусловлено степенью чистоты воздуха: чем он чище, тем меньше в нем микроорганизмов. Такое широкое распространение микроорганизмов в природе определяется их биологическими особенностями:

- необычайно большой скоростью размножения: при благоприятных условиях клетки многих бактерий делятся через каждые 20-30 мин;
- относительно высокой устойчивостью к действию разнообразных физических и химических факторов – высокой и низкой температуре, действию различного рода излучений, высушиванию, высокому осмотическому давлению, недостатку влаги и др.;
- исключительно легкой приспособляемостью к условиям окружающей среды;
- необычайно большим многообразием физиологических свойств, благодаря чему они могут использовать для питания или получения энергии практически все природные соединения, жить и размножаться там, где другие живые существа обитать не могут. В природе не существует естественных сред, лишенных микроорганизмов.

Несмотря на милые размеры, роль микроорганизмов в природе необычайно велика благодаря их высокой численности (масса мира микроорганизмов в 25 раз превосходит массу мира наземных животных), повсеместному распространению, большому разнообразию физиологических свойств и др.

Мир микроорганизмов в своей совокупности выполняет колоссальную химическую работу по разложению органического вещества, синтезируемого животными и растениями, которое после их отмирания становится добычей микроорганизмов. В результате их жизнедеятельности сложнейшие органические вещества (белки, углеводы, липоиды) превращаются в простые минеральные соединения – углекислоту, нитраты, аммиак, сульфаты, которые будучи растворимыми в воде, усваиваются растениями и вновь входят в состав тела растений, а затем и животных. Так совершается биологический круговорот веществ в природе, который без микроорганизмов неосуществим.

1.2. Этапы развития микробиологии

В истории микробиологии было два периода: морфологический и физиологический. Начало описательного, или морфологического, периода в развитии микробиологии (микрография) связано с именем А. Левенгука (1632-1723). В этот период внимание исследователей сосредоточивалось на описании внешнего вида и попытках классификации микроорганизмов.

Работы гениального французского ученого Луи Пастера (1822-1895) положили начало новому физиологическому периоду в развитии микробиологии. Л. Пастер впервые использовал экспериментальный метод исследования в микробиологии и дал миру ряд исключительно важных открытий.

Им открыта биологическая природа молочнокислого и спиртового брожения и опровергнута господствовавшая в то время теория Либиха о химической природе процессов образования спирта. Изучая возбудителей маслянокислого брожения, Л. Пастер установил, что кислород воздуха для них вреден. Он доказал, что зародыши микроорганизмов несутся в воздухе, откуда попадают в различные настои, вызывая их гниение: изучил причины болезней пива, вина, шелковичных червей, открыл природу заразных болезней человека и животных, установив, что эти болезни происходят вследствие инфекции (заражения) особыми микроорганизмами. На основе своих исследований он разработал метод предохранения человека и животных от заразных болезней, приготовил вакцины против сибирской язвы и бешенства, использование которых сыграло огромную роль в борьбе с этими заболеваниями. Эти исследования

положили начало развитию новой науки – иммунологии. Л. Пастера справедливо считают основоположником современной микробиологии.

Одним из крупнейших микробиологов был немецкий ученый Р. Кох (1843-1910), впервые предложивший выделять чистые культуры микроорганизмов в виде отдельных колоний на твердой питательной среде (желатине), создавший различные методы окраски бактериологических препаратов, открывший и изучивший возбудителей холеры и туберкулеза и разработавший основы дезинфекции. Р. Кох по праву считается основоположником медицинской микробиологии. В развитии общей микробиологии огромная роль принадлежит голландскому ученому М. Бейеринку (1851-1931). Первая попытка систематизировать микроорганизмы была предпринята Ф. Коном (1828-1898).

Велик вклад русских и советских ученых в достижения микробиологии. Так, врачом Д. Самойловичем (1744-1805) была установлена микробная природа возвратного тифа. Параллельно с ним работал врач М. М. Тереховский (1740-1796) – первый русский микробиолог. Он доказал живую природу простейших, развивающихся в настоях, и отрицал их самопроизвольное зарождение.

Микробиология в России во второй половине XIX в. развивалась по двум направлениям: как общая, так и медицинская. Основоположником общей микробиологии является Л. С. Ценковский, ряд исследований которого по биологии микроорганизмов имеет принципиальное значение. Параллельно он занимался и медицинской микробиологией, организовал в Харькове Пастеровскую станцию и предложил метод прививки против сибирской язвы (живая вакцина Ценковского). Большой вклад в развитие медицинской микробиологии внесли И. И. Мечников (1845-1916), Н. Ф. Гамалея (1859-1948), Г. Н. Габричевский (1860-1907) и Д. К. Заболотный (1866—1929). И.И. Мечников явился основоположником всемирно известной фагоцитарной теории борьбы живого организма с болезнетворными микроорганизмами. Он также выдвинул идею борьбы с преждевременным старением человека, основанную на изучении антагонизма между гнилостными и молочнокислыми бактериями, развивающимися в кишечнике, которая легла в основу учения об антибиотиках, создал первую в России бактериологическую лабораторию.

Основоположником почвенной микробиологии является С. Н. Виноградский (1856-1953), открывший хемосинтез у микроорганизмов – особый тип обмена веществ, которым обладают некоторые бактерии, что было исключительно важным открытием в биологии в XIX в. Он ввел новый метод исследования в микробиологии – элективные (накопительные) культуры: в питательной среде, содержащей большое число различных микроорганизмов, создаются условия, оптимальные для развития одного вида.

Другой крупнейший микробиолог В. Л. Омелянский (1867—1928), ученик и сотрудник С. Н. Виноградского, изучал экологию микроорганизмов почвы, работал и в других областях общей микробиологии. Им впервые была выдвинута идея о важнейшей роли микроорганизмов в круговороте веществ в природе (1909) и представлены схемы круговорота веществ в природе. В. Л. Омелянский создал первый русский учебник «Основы микробиологии» и первое русское «Практическое руководство по микробиологии».

Большой вклад в почвенную микробиологию внесли С. П. Костычев, Н. Г. Холодный, П. Н. Худяков, М. В. Федоров, Е. Н. Мишустин. С. П. Костычевым, И. С. Вуткевичем, а в дальнейшем В. И. Шапошниковым и Н. Д. Иерусалимским успешно развивались в исследованиях по механизму брожения. При этом произошло выделение технической микробиологии в самостоятельную область знаний, основоположником которой был В. Н. Шапошников. Он установил двухфазность брожений, организовал и усовершенствовал производство молочной, масляной, уксусной кислот, ацетона и бутилового спирта, С.П. Костычев изучал обмен веществ у грибов и впервые в СССР организовал производство лимонной кислоты. Вопросам наследственности и изменчивости микроорганизмов были посвящены работы Г. А. Надсона (1867-1942), создавшего большую школу

микробиологов, в которую вошли такие крупные ученые, как А. А. Имшенецкий, М. Н. Мейсель, Н. А. Красильников, Кресе, В. И. Кудрявцев, Я. И. Раутенштейн.

В XX в. произошло обособление новых научных дисциплин по Систематическому признаку – бактериологии (учение о бактериях), микологии (учение о грибах), вирусологии (учение о вирусах), бактериофагии (учение о фагах — паразитах бактерий). Честь открытия вирусов принадлежит русскому ботанику Д. О. Ивановскому (1920), а явления бактериофагии – Н. Ф. Гамалея. Наряду с обособлением этих научных дисциплин выделились научные разделы, четко различающиеся по сферам и задачам исследования – общая, медицинская, техническая, микробиология почвы, водной среды, геологическая, радиационная микробиология. В последнее десятилетие возникли и развиваются новые направления – космическая микробиология и палеомикробиология.

1.3. Морфология и систематика прокариотных микроорганизмов (бактерий)

По численности и разнообразию осуществляемых химических превращений бактерии занимают ведущее место среди микроорганизмов.

Размеры, объем, масса и форма клеток. Размеры бактерий ничтожно малы (от 1 до 3 мкм в длину и 0,5...0,8 мкм в ширину). Однако среди бактерий встречаются «гиганты», например серобактерия *Beggiatoa mirabilis* достигает 1...2 см в длину и 50 мкм в поперечнике и «карлики» – *Micrococcus progrediens* размером 0,15 мкм. Объем бактериальной клетки в среднем составляет 0,07 мкм³, а масса 5-10⁻¹² г. В 1 мм³ может содержаться до 1000 млн. бактериальных клеток.

Большинство бактерий – это одноклеточные организмы. По внешнему виду они разделяются на три основные группы: шаровидные, палочковидные и извитые.

Шаровидные бактерии. Шаровидные бактерии – *кокки* могут быть одиночными (*микрочкокки*), либо соединенными попарно (*диплококки*). Часто при делении в процессе размножения клетки по тем или иным причинам не расходятся, а образуют различные сочетания в зависимости от расположения делящей перегородки. При расположении делящих перегородок в двух взаимно перпендикулярных плоскостях образуются группы, состоящие из четырех клеток *тетракокки*, при расположении перегородок в трех взаимно перпендикулярных плоскостях – пакетобразные скопления, состоящие из восьми – шестнадцати и кокков и называемые *сарцинами*. При делении кокков в разных направлениях образуются скопления клеток, напоминающие грозди винограда – *стафилококки*. В том случае, если деление кокков происходит в одном направлении и без их разъединения, образуются цепочки клеток – *стрептококки*. Эти сочетания не эквивалентны многоклеточным микроорганизмам, так как каждая клетка в них является отдельным организмом, способным на самостоятельное существование после отделения от остальных клеток.

Палочковидные бактерии. Это палочки, не способные к образованию спор, называемые *бактериями* (от греч. *Bacterae* – палочка). Таким образом, в микробиологии термин бактерия употребляется как в широком (обозначает название большой группы микроорганизмов), так и в более узком смысле слова (обозначает название непорообразующих палочковидных форм, входящих в эту группу). Палочковидные формы, способные к образованию спор внутри клеток, называются *бациллами*. Палочковидные формы также могут образовывать пары или цепочки клеток.

Размеры палочковидных бактерий колеблются от 1 до 4, иногда до 10...12 мкм в длину и от 0,5 до 1,0 мкм в поперечнике. Они являются наиболее многочисленной группой среди бактерий.

Извитые бактерии. Бывают трех типов: *вибрионы* – палочки, изогнутые в виде запятой, *спириллы*, имеющие несколько правильных завитков, *спирохеты* – имеющие вид мелких спиралей с многочисленными завитками. Все извитые формы подвижны, некоторые обладают жгутиками; размеры их весьма различны – от мелких 1,5...2 мкм

(вибрионы) до очень крупных: от 15 до 20 мкм в длину и 2...3 мкм в поперечнике (спириллы).

Нитчатые бактерии. Кроме этих наиболее распространенных в природе форм бактерий имеется небольшое количество *нитчатых* форм. Они представляют собой многоклеточные организмы в виде нитей, состоящих из цилиндрических или дисковидных клеток, иногда достигающих гигантских размеров – до 40 мкм в длину. К нитчатым бактериям относятся также некоторые серо- и железо- бактерии, флексибактерии.

Ветвистые, стебельковые, почкующиеся бактерии. К бактериям относится и обширная группа микроорганизмов, имеющих ветвистую форму (актиномицеты, или лучистые грибки, микобактерии), стебельковые, почкующиеся бактерии, а также миксобактерии и микоплазмы, отличительным признаком которых является отсутствие у них жесткой клеточной стенки. В последние годы были обнаружены новые формы бактерий.

Тонкое строение бактериальной клетки. Обязательные структуры клетки – органоиды, или органеллы – клеточная стенка, цитоплазматическая мембрана, мезосомы, рибосомы, нуклеоид.

Снаружи клетка покрыта твердой, достаточно прочной *клеточной стенкой* толщиной 0,01...0,04 мкм, составляющей 20% ее сухой массы. Клеточная стенка выполняет механическую функцию – придает постоянную форму клетке, предохраняет от неблагоприятных внешних воздействий и т.п.

Клеточную стенку можно растворить или разрушить. Например, в слюнной жидкости, слизистом отделяемом из полости носа и яичном белке содержится фермент лизоцим, растворяющий ее. Разрушить стенку можно также ультразвуком. При этом освобождается *протопласт* (цитоплазма клетки с включениями), который приобретает округлую форму независимо от формы тела данной бактерии, и он свидетельствует о том, что именно клеточная стенка придает бактериальной клетке определенную форму. Протопласты бактерий и определенных условиях способны осуществлять обмен веществ, и с частично удаленными клеточными стенками («голые») называют *сферопластами*.

В отличие от стенок растительных клеток в стенках бактериальных клеток целлюлозы (за исключением уксуснокислой бактерии *Acetobacter xylinum*) и хитина, как правило, не имеется. Стенка бактериальной клетки состоит из азотистых и безазотистых соединений, ее основу составляет полимер – гликопептид *муреин*, который присущ только прокариотам. У эукариотов он никогда не обнаруживается. Муреин состоит из цепочек N-ацетил-глюкозамина и N-ацетилмурамовой кислоты, соединенных 1,4-р-гликозидными связями, и является опорным каркасом клеточной стенки, к которому прикрепляются другие вещества.

Установлено, что именно клеточная стенка бактерий воспринимает краситель при окрашивании по способу, предложенному Грамом в 1884 г. Одни бактерии, называемые грамположительными, окрашиваются при этом в темно-фиолетовый цвет, другие (грамотрицательные) не воспринимают краситель. Это обусловлено различиями в химическом составе клеточной стенки грамположительных грамотрицательных бактерий. У грамположительных бактерий значительно больше муреина (до 95%), чем у грамотрицательных, у некоторых из них содержание его может составлять всего 5...10%.

В клеточных стенках грамположительных бактерий муреин связан в основном с полисахаридами, среди которых значительное место занимают *тейхоевые* кислоты (производные рибитолфосфата и глицерофосфата), которые так же, как и мурамовая кислота, до сих пор обнаруживались только в бактериях. Содержание белков сравнительно невелико. В клеточных стенках грамотрицательных бактерий муреин в основном связан с липидами (липопротеиды, липополисахариды, фосфолипиды), составляющими до 80% сухой массы клеточной стенки. Тейхоевые кислоты отсутствуют. Предполагают, что способность к восприятию красителя по Граму определяется также

различиями в проницаемости клеточных стенок этих двух групп бактерий. Окраска по Граму является важным таксономическим признаком, с которым коррелируют другие свойства микроорганизмов.

Клеточная стенка имеет поры размером около 6 нм, что обуславливает проникновение через них веществ с молекулярной массой до 75000. У некоторых бактерий клеточная стенка имеет отверстия для выхода фимбрий и жгутиков – органов прикрепления и движения бактерий.

Внутреннее пространство клетки заполнено *цитоплазмой*, которая отделяется от внешней среды цитоплазматической мембраной и клеточной стенкой. Цитоплазма представляет собой полужидкую коллоидную систему, степень вязкости которой зависит от возраста и физиологического состояния клетки. В молодых клетках вязкость цитоплазмы незначительна, что обуславливает ее

более активную круговую подвижность, обеспечивающую интенсивный перенос продуктов обмена от одного органоида к другому. Цитоплазма неоднородна. В ней содержатся различные мембраны, связанные системой канальцев и пузырьков.

Цитоплазма содержит воду (в количестве 70...80% от общей массы клетки), ферментные белки, аминокислоты, рибонуклеиновые кислоты, углеводы, липиды и различные низкомолекулярные вещества, в частности нуклеотиды. В цитоплазме располагаются остальные органоиды клетки и гранулы запасных веществ различной природы.

Цитоплазматическая мембрана плотно прилегает к сочной стенке. Ее толщина 5...10 нм. Она часто образует впячивания внутрь клетки или спиралевидные тельца – *мезосомы*. Цитоплазматическую мембрану с мезосомами называют *бактериальной мембраной*. Основными компонентами ее являются белки (60...80%), фосфолипиды (20...30%) и связанная вода (25% сухой массы).

Наиболее важными компонентами являются белки, определяющие функции мембраны, в основном ее ферментативные функции.

Современные представления о строении биомембраны отражены в модели Сингера. Он предложил мозаичную (асимметричную) липопротеиновую модель мембраны, согласно которой гидрофильные полярные головки фосфолипидов и гидрофильные заряженные группы белков выступают наружу в водную фазу. Гидрофобные же участки фосфолипидов и белков погружены в более глубокие слои мембраны. Бактериальная мембрана выполняет все те функции, которые в клетках эукариотов распределены между различными видами мембран (митохондриальными, ядерными и мембранами эндоплазматической сети). На внутренней стороне мембраны расположены в основном окислительно-восстановительные ферменты, участвующие в снабжении клетки энергией; на ее внешней стороне – гидролитические ферменты. Цитоплазматическая мембрана является главным осмотическим барьером клетки и обладает избирательной проницаемостью: при помощи расположенных на ней специфических белков – *пермеаз*, осуществляющих активный перенос веществ, происходит поступление питательных веществ в клетку и выведение конечных продуктов обмена. Мезосомы осуществляют синтез материала клеточной стенки и принимают участие в распределении ДНК между новообразующимися особями при делении клетки.

В цитоплазме диффузно расположены небольшие гранулы – *рибосомы*, играющие важную физиологическую роль: в них происходит биосинтез белков. Размеры рибосом колеблются от 15 до 30 нм. Рибосомы – это нуклеопротеиды, содержащие примерно 60% РНК и 40% белка. Количество рибосом в клетке зависит от условий ее культивирования и возраста (от 5000 до 50 000). В молодых клетках наблюдается повышенное содержание рибосом.

В центральной части бактериальной клетки расположен аналог ядра – *нуклеоид*. Типичного оформленного ядра с ядерной мембраной и ядрышком, как у высших организмов (эукариотов), у бактерий нет, по этому признаку они и отнесены к

прокариотам. Исключение составляет единственный класс бактерий – миксобактерии, облачающие четко дифференцированным ядром. Ядерное вещество бактерий состоит из одной двойной спирально «а к ручейной нити дезоксирибонуклеиновой кислоты (ДНК), замкнутой в кольцо. Эта нить названа *бактериальной хромосомой*. Ранее считалось, что нити ДНК диффузно распределены по всей цитоплазме. С помощью цитохимических анализов на ультратонких средах бактериальных клеток удалось увидеть локализацию ДНК в центральной части клетки. В отличие от ядер эукариотическая бактериальная ДНК не связана с основными белками- гистонами.

Электронномикроскопические снимки срезов бактериальных клеток показывают, что бактериальная хромосома прикрепляется в одной точке к мезосоме.

В клетках бактерий помимо обязательных структурных единиц – органоидов часто содержатся гранулы *резервных, или запасных*, веществ. Они накапливаются при достаточном количестве питательных веществ, а расходуются при попадании в условия, менее благоприятные в отношении питания.

Метахроматин (волютин) может скапливаться в цитоплазме в виде коллоидного раствора, распределяясь в ней диффузно или в виде гранул, состоящих из сложного комплекса рибонуклеиновой кислоты (РНК), связанной с полифосфатами, белка и липидов. Благодаря полифосфатам метахроматин является своеобразным аккумулятором энергии, используемой клеткой в процессе обмена веществ.

Кроме метахроматина в клетках бактерий могут откладываться в запас другие вещества: крахмалоподобное вещество – *гранулеза* (у анаэробных споровых бактерий), капли *жира* особенно у микобактерий, капли *серы* (у серобактерий). Капли жира могут состоять из триглицеридов, но у многих бактерий имеются большие так называемые *липидные гранулы*, которые представляют собой полиоксималяную кислоту, на долю которой может приходиться до 50% сухой биомассы клеток.

Она обычно синтезируется на средах, богатых углеводами. Поли-β-оксималяная кислота – полимер, содержащий до 60 остатков β -оксималяной кислоты, соединенных в цепочку. Она нерастворима в воде и может при необходимости использоваться клеткой в качестве прекрасного источника энергии.

У некоторых почвенных и особенно водных бактерий, например у окрашенных серобактерий, в цитоплазме имеются *базовые вакуоли* (до 40...60 шт.). Предполагают, что они заполнены азотом. Регулируя степень наполнения вакуолей газом, бактериальная клетка может осуществлять механическое передвижение снизу вверх и в водоемах или капиллярах почвы. Некоторые исследователи расценивают газовые вакуоли как приспособление для движения бактерий, не имеющих специальных органов передвижения.

У многих бактерий клеточная стенка снаружи ослизняется и образует *капсулу*, выполняющую защитную функцию. Капсулы чаще всего – полисахариды (декстран, леван), реже – гликопротеиды, полипептиды. Декстрановые капсулы образуются в тех случаях, когда питательная среда содержит значительное количество сахарозы. Так, на сахарных заводах иногда обильно развивается лейконосток, за короткий срок превращающий раствор тростникового сахара в декстрановый студень (клек), за что его называют бактерией лягушачьей икры. Декстран используют как заменитель крови. Декстрановый гель – сефадекс находит широкое применение в аналитической химии. Некоторые молочнокислые бактерии выделяют полисахарид леван, что придает кислому молочным продуктам тягучесть. Капсулы болезнетворных бактерий затрудняют лечение.

Некоторые бактерии выделяют слизь, состоящую из окислов железа и марганца, одни – в виде стебелька (*Gallionella ferruginea*), другие – в виде чехла или футляра (*Leptotrixochracea*).

Вопросы для самоконтроля

1. Определение микробиологии.
2. Систематика и номенклатура микроорганизмов.
3. Предмет и задачи микробиологии.
4. Методы микробиологии.
5. Ученые, внесшие свой вклад в развитие микробиологии и иммунологии.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Основная

1. Мудрецова-Висс, К.А. Микробиология, санитария и гигиена / К. А. Мудрецова-Висс, В. П. Дедюхина. - 4-е изд., испр. и доп. – М. : ИД ФОРУМ : Инфра-М, 2010. – 400 с.
2. Нетрусов, А.И. Микробиология / А.И. Нетрусов, И.Б. Котова. – М. : Издательский центр «Академия», 2012. – 384 с. ISBN 978-5-7695-8411-4

Дополнительная

1. Вербина, Н.М. Гидромикробиология с основами общей микробиологии. – М. : «Пищевая промышленность», 1980. – 288 с.
2. Санитарная микробиология [Электронный ресурс] / Р. Г. Госманов. – 1-е изд. - Электрон. текстовые дан. – СПб.: Лань, 2010. – 240 с.

Лекция 2

МОРФОЛОГИЯ И СИСТЕМАТИКА ВИРУСОВ

2.1 Особенности строения вирусов

Вирусы не имеют клеточного строения. Каждая вирусная частица состоит израсположенного в центре носителя генетической информации и оболочки. Генетический материал представляет собой короткую молекулу нуклеиновой кислоты, это образует сердцевину вируса. Нуклеиновая кислота у разных вирусов может быть представлена ДНК или РНК, причем эти молекулы могут иметь необычное строение: встречается одностратчатая ДНК и двух нитчатая РНК.

Оболочка называется капсид. Она образована субъединицами – капсомерами, каждый из которых состоит из одной или двух белковых молекул. Число капсомеров для каждого вируса постоянно (в капсиде вируса полиомиелита их 60, а у вируса табачной мозаики – 2130). Иногда нуклеиновая кислота вместе с капсидом называется нуклеокапсидом. Если вирусная частица кроме капсида, больше не имеет оболочки, её называют простым вирусом, если имеется ещё одна – наружная, вирус называется сложным. Наружную оболочку также называют суперкапсидом, генетически она не принадлежит вирусу, а происходит из плазматической мембраны клетки-хозяина и формируется при выходе собранной вирусной частицы из инфицированной клетки.

У каждого вируса капсомеры капсида располагаются в строго определённом порядке, благодаря чему возникает определённый тип симметрии. При спиральной симметрии капсид приобретает трубчатую (вирус табачной мозаики) или сферическую (РНК-содержащие вирусы животных) форму. При кубической симметрии капсид имеет форму икосаэдра (двадцатигранника), такой симметрией обладают изометрические вирусы. В случае комбинированной симметрии капсид обладает кубической формой, а расположенная внутри нуклеиновая кислота уложена спирально. Правильная геометрия капсида даже позволяет вирусным частицам совместно образовывать кристаллические структуры.

2.2 Систематика вирусов

Вирусы отнесены к царству *Vira*. В основу их классификации положен тип нуклеиновой кислоты, образующей геном. Соответственно выделяют рибовирусы (РНК-вирусы) и дезоксирибовирусы (ДНК-вирусы). Для вирусов предложены следующие таксономические категории (по восходящей): Вид (*Species*) → Род (*Genus*) → Подсемейство (*Subfamilia*) → Семейство (*Familia*). Но категории подсемейств и родов разработаны не для всех вирусов. Видовые названия вирусов обычно связывают с вызываемыми ими заболеваниями (например, вирус бешенства) либо по названию места, где они были впервые выделены (например, вирусы Коксаки, вирус Эбола). Если семейство включает большое количество видов, то видовые названия дают в соответствии с антигенной структурой и разделяют их на типы (например, аденовирус 32 типа или вирус герпеса 1 типа). Реже используют фамилии учёных, впервые их выделивших (например, вирус Эпштейна-Барр или вирус саркомы Рауса). Иногда используют устаревшие названия групп вирусов, отражающих их уникальные эпидемиологические характеристики (например, арбовирусы).

К вирусам отнесены вириды [от *virus* и греч. *eidos*, сходство] — мелкие кольцевые одностратчатые суперспирализованные молекулы РНК (аналогичную организацию имеет геном вируса гепатита D). Поскольку у виридов нет белковой оболочки, они не проявляют выраженных иммуногенных свойств, и поэтому их нельзя идентифицировать серологическими методами. Вириды вызывают заболевания у растений. В качестве безымянного таксона в царство *Vira* также включены и прионы.

Вопросы для самоконтроля

1. Строение вирусов
2. Систематика вирусов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Основная

1. Мудрецова-Висс, К.А. Микробиология, санитария и гигиена / К. А. Мудрецова-Висс, В. П. Дедюхина. - 4-е изд., испр. и доп. – М. : ИД ФОРУМ : Инфра-М, 2010. –400 с.
2. Санитарная микробиология [Электронный ресурс] / Р. Г. Госманов.–1-е изд. - Электрон. текстовые дан. – СПб.: Лань, 2010. – 240 с.

Дополнительная

1. Вербина, Н.М. Гидромикробиология с основами общей микробиологии. – М. : «Пищевая промышленность», 1980. – 288 с.

Лекция 3

СТРОЕНИЕ ЭУКАРИОТИЧЕСКОЙ КЛЕТКИ

3.1. Строение эукариотической клетки.

Структура ядра и способ его деления – наиважнейшие и самые характерные признаки, отличающие эукариотическую клетку от прокариотической. Ядро окружено ядерной оболочкой – двойной перфорированной мембраной. ДНК, несущая генетическую информацию, распределена между отдельными субъединицами – хромосомами, которые становятся видимыми только во время деления ядра. Ядро делится путём митоза; митоз обеспечивает а) идентичную редупликацию генетического материала; 2) передачу полного набора хромосом каждому из дочерних ядер.

Клетка снаружи окружена цитоплазматической мембраной. Для эукариотической клетки характерно выраженное подразделение цитоплазмы на множество обособленных пространств. Они имеют вид цистерн и пузырьков и создаются в результате впячивания цитоплазматической мембраны; однако помимо этого в цитоплазме эукариотов содержатся митохондрии и хлоропласты, которые со всех сторон окружены мембранами. Из впячиваний цитоплазматической мембраны образуется эндоплазматический ретикулум (ЭР). Часть ЭР образует наружную ядерную мембрану, и таким образом, окружает ядро; в ядерной оболочке имеются поры, которые обеспечивают беспрепятственный транспорт нуклеиновых кислот, белков и метаболитов между ядерным пространством и цитоплазмой. Часть мембраны усеяна мельчайшими гранулами – рибосомами; это так называемый «шероховатый», или гранулярный, ЭР. На рибосомах осуществляется синтез белков. Свободно плавающие в цитоплазме или прилегающие к ЭР рибосомы относятся к типу 80S.

В эукариотических клетках есть ещё два вида органелл, окружённых мембранами, – митохондрии и хлоропласты. Митохондрии осуществляют дыхание; эти образования изменчивой формы, богатые липидами, имеют две мембраны – наружную и сильно складчатую внутреннюю. (с кристами и трубочками). Внутренняя мембрана содержит компоненты электрон-транспортной цепи и АТФ-синтетазу. В клетках водорослей и высших растений наряду с митохондриями имеются также и хлоропласты. Внутренние мембраны хлоропластов (тилакоиды) содержат фотосинтетические пигменты и компоненты фотосинтетического транспорта электронов.

Основные отличия прокариот от эукариот состоят в том, что прокариоты не имеют:

- 1) в клетке прокариот отсутствуют оформленное ядро и органоиды заключённые в оболочки (митохондрии, эндоплазматическая сеть, аппарат Гольджи и др.);

- 2) Прокариоты не способны к пиноцитозу и фагоцитозу;

- 3) Отсутствует митотический аппарат;

- 4) Геном, представлен молекулой ДНК замкнутой в кольцо;

- 5) Содержат только один тип рибосом с константой седиментации—70S.

- 6) Некоторые бактерии имеют структуры, которые отсутствуют у эукариот: жгутики, эндоспоры, включения, окружённые белковой мембраной.

3.2 Морфология грибов, особенности классификации

Грибы (Fungi, Mycetes) – разнородная группа эукариотических микроорганизмов. Грибы имеют ядро с ядерной оболочкой, цитоплазму с органеллами, цитоплазматическую мембрану (которая содержит фосфолипиды и стеролы) и мощную клеточную стенку, состоящую из глюкана, целлюлозы, хитина, белка, липидов и др. Грибы состоят из длинных тонких нитей (гиф), сплетающихся в грибницу, или мицелий. Гифы низших грибов – фикомицетов – не имеют перегородок. У высших грибов – эумицетов – гифы разделены перегородками; их мицелий многоклеточный.

Грибы размножаются спорами половым и бесполом способами, а также вегетативным путем (почкование или фрагментация гиф). Грибы, размножающиеся половым и бесполом путем, относятся к совершенным. Несовершенными называют грибы, у которых отсутствует или еще не описан половой путь размножения. Бесполое размножение осуществляется у грибов с помощью эндогенных спор, созревающих внутри круглой структуры – спорангия, и экзогенных спор – конидий, формирующихся на кончиках плодоносящих гиф.

Грибы можно разделить на 7 классов: хитридиомицеты, гифохитридиомицеты, оомицеты, зигомицеты, аскомицеты, базидиомицеты, дейтеромицеты. Среди фикомицетов различают: хитридиомицеты, или водные грибы, ведущие сапрофитический образ жизни или поражающие водоросли; гифохитридиомицеты, имеющие сходство с хитридиомицетами и оомицетами; оомицеты – паразиты высших растений и водяные плесени; зигомицеты включают представителей рода *Mucor*, распространенных в почве и воздухе и способных (например, грибы рода *Mucor*) вызывать мукоморикоз легких, головного мозга и других органов. При бесполом размножении на плодоносящей гифе-спорангиеносце образуется спорангий – шаровидное утолщение с оболочкой, содержащее многочисленные споры (спорангиоспоры). Половое размножение (оогамия) у зигомицетов осуществляется путем образования зигоспор, или ооспор. Эумицеты представлены аскомицетами и базидиомицетами (совершенные грибы), а также дейтеромицетами (несовершенные грибы). Аскомицеты (или сумчатые грибы) объединяют группу грибов, имеющих септированный мицелий и отличающихся способностью к половому размножению. Свое название аскомицеты получили от основного органа плодоношения – сумки, или аска, содержащего 4 или 8 гаплоидных половых спор (аскоспор). К аскомицетам относятся представители родов *Aspergillus*, *Penicillium* и др., отличающиеся особенностями формирования плодоносящих гиф. У *Aspergillus* (лещинная плесень) на концах плодоносящих гиф-конидиеносцев имеются утолщения – стеригмы, на которых образуются цепочки спор – конидии. Некоторые виды аспергилл могут вызывать аспергиллезы и афлатоксикозы.

Плодоносящая гифа у грибов рода *Penicillium* (кистевик) напоминает кисточку, так как из нее (на конидиеносце) образуются утолщения, разветвляющиеся на более мелкие структуры – стеригмы, на которых находятся цепочки конидий. Пенициллы могут вызывать заболевания (пенициллинозы). Многие виды аскомицетов являются продуцентами антибиотиков. Представителями аскомицетов являются и дрожжи – одноклеточные грибы, утратившие способность к образованию истинного мицелия. Дрожжи имеют овальную форму клеток, диаметр которых 3-15 мкм. Они размножаются почкованием, бинарным делением (делятся на две равные клетки) или половым путем с образованием аскоспор. Дрожжи используют в биотехнологических процессах. Заболевания, вызываемые некоторыми видами дрожжей, получили название дрожжевых микозов. К аскомицетам относится и возбудитель эрготизма, или спорыньи (*Claviceps purpurea*), паразитирующий на злаках. Базидиомицеты – шляпочные грибы с септированным мицелием. Дейтеромицеты – несовершенные грибы (*Fungi imperfecti*) – являются условным классом грибов, объединяющим грибы с септированным мицелием, не имеющих полового размножения. Они размножаются только бесполом путем, образуя конидии. К несовершенным грибам относятся грибы рода *Candida*, поражающие кожу, слизистые оболочки и внутренние органы (кандидоз). Они имеют овальную форму, диаметр 2.5 мкм; делятся почкованием (бластоспоры), образуют псевдомицелий (почкующиеся клетки из ростковой трубочки вытягиваются в нить), на концах которого находятся хламидоспоры. Эти грибы называют дрожжеподобными. Истинные дрожжи (аскомицеты) образуют аскоспоры, не имеют псевдомицелия и хламидоспор. Подавляющее большинство грибов, вызывающих заболевания у человека (микозы), относятся к несовершенным грибам.

Вопросы для самоконтроля

1. Строение эукариотической клетки.
2. Отличие прокариот от эукариот
3. Грибы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Основная

1. Мудрецова-Висс, К.А. Микробиология, санитария и гигиена / К. А. Мудрецова-Висс, В. П. Дедюхина. - 4-е изд., испр. и доп.– М. : ИД ФОРУМ : Инфра-М, 2010.–400 с.
2. Санитарная микробиология [Электронный ресурс] / Р. Г. Госманов.–1-е изд. - Электрон. текстовые дан. – СПб.: Лань, 2010. – 240 с.

Дополнительная

1. Вербина, Н.М. Гидромикробиология с основами общей микробиологии. – М. : «Пищевая промышленность», 1980. – 288 с.

Лекция 4

ФИЗИОЛОГИЯ МИКРООРГАНИЗМОВ

4.1 Рост и размножение бактерий

Физиология микроорганизмов изучает процессы роста, размножения и питания микроорганизмов и способы получения энергии для осуществления этих процессов.

Основной отличительной особенностью живых организмов от неживой природы является рост и размножение. **Рост** – это физиологический процесс, в ходе которого увеличиваются размеры и масса клетки. Рост бактериальной клетки не безграничен. Достигнув определенной величины, она перестает расти и приступает к размножению, т. е. к увеличению числа особей (материнская клетка отделяет дочернюю).

Существуют две основные формы размножения: половое и бесполое (вегетативное). При половом размножении возникновению новой клетки предшествует слияние двух клеток. Бесполое размножение осуществляется без слияния клеток вегетативным путем. Простейшей формой размножения является деление. Основным способом размножения у бактерий – поперечное деление клеток, но может быть и *почкование*.

Клетка перед делением удлиняется, затем делится нуклеоид (бактериальная хромосома). Этот процесс называется *репликацией* (редупликацией) ДНК, т. е. происходит удвоение числа молекул ДНК в клетке. Это позволяет вновь образующейся (дочерней) клетке получать совершенно тождественную материнской клетке по последовательности нуклеотидов молекулу ДНК. Подробно этот процесс будет рассмотрен в главе III. Репликация ДНК занимает 80% времени, в течение которого происходит деление клетки. Предполагают, что делению бактериальной клетки предшествует удвоение структурных и химических ее компонентов – клеточной стенки, цитоплазматической мембраны, рибосом, РНК, белков, аминокислот и т. д. Только после этого происходит деление клетки.

После завершения репликации ДНК, когда в бактериальной клетке синтезирована новая, дочерняя цепь ДНК, начинается собственно процесс деления клетки. На противоположных сторонах внутренней части клеточной стенки образуются два выступа, растущие на встречу друг другу и затем образующие разделяющую перегородку. В ее образовании важную роль играют мезосомы, синтезирующие материал клеточной стенки. Чаще всего клетка делится на две равные части (изоморфное деление), но встречается и неравномерное деление (гетероморфное), когда дочерняя клетка больше материнской.

Извитые формы бактерий (вибрионы, спириллы, спирохеты) размножаются также путем поперечного деления клетки.

Миксобактерии размножаются путем *перешнуровывания* (перетяжки) клетки без образования перегородки.

Нитчатые бактерии размножаются при помощи *гонидий* – особых, овальных, иногда подвижных клеток, возникающих из концевых клеток нити. Прикрепляясь к подводным предметам, они путем простого деления, без прорастания, превращаются в новую нить, и цикл повторяется.

Размножение почкованием у прокариотов встречается исключительно редко, например, у представителей родов *Hyphomicrobium*, *Nitrobacter*, *Mycobacterium*.

Скорость размножения бактерий необычайно велика. В благоприятных условиях клетка делится каждые 20...30 мин. Число бактерий растет в геометрической прогрессии: 2^0 , 2^1 , 2^2 , 2^3 , ... Подсчитано, что через 20 ч потомство одной бактериальной клетки исчисляется в 1099 млрд. 511,6 млн. клеток, масса которых составляет 80 мг, через 25 ч масса клеток достигает 82 г, через 30 ч – 89,2 кг, а через 40 ч – 18 841,6 т. Такой темп размножения возможен в искусственно подобранных оптимальных условиях, а в природе этому препятствуют различные неблагоприятные факторы внешней среды – температура, действие света, недостаток влаги, питательных веществ, собственные продукты обмена,

антагонизм между различными видами микроорганизмов и многие др. Каждый вид микроорганизмов имеют свою среднюю скорость размножения. Время между двумя делениями клетки называют *временем генерации* (обычно 20...30 мин).

В искусственных условиях бактерии развиваются в виде бактериальной популяции – это совокупность клеток одного вида, занимающая определенное пространство. Культивирование бактерий в искусственных условиях бывает периодическим, непрерывным и синхронным. Периодическое культивирование осуществляют на несменяемой питательной среде. При этом бактериальная популяция проходит пять фаз (стадий) роста и размножения, в течение которых изменяются размеры клеток, скорость размножения, морфологические и физиологические свойства.

Первая стадия – *лаг-фаза* (англ. lag– отставание, запаздывание), или фаза задержки роста. Этот период следует непосредственно за внесением посевного материала в питательную среду, когда микроорганизмы не размножаются, а приспосабливаются к среде; в клетках повышается содержание нуклеиновых кислот, что является подготовкой к дальнейшему интенсивному биосинтезу белка.

Вторая стадия – *экспоненциальная* (фаза логарифмического роста) характеризуется высокой активностью размножения клеток, число которых увеличивается в нанометрической прогрессии (1, 2, 4, 8, 16 и т. д.). Длительность этого периода зависит от количества питательных веществ в среде (на полноценной среде микроорганизмы могут размножаться длительное время), а также от содержания вредных продуктов обмена, выделяемых клеткой.

Третья стадия – *фаза замедленного роста*, когда в результате израсходования питательных веществ и накопления продуктов жизнедеятельности размножение замедляется.

Четвертая стадия – *стационарная* или фаза зрелости, когда кривая роста достигает максимума, а затем становится почти параллельной оси абсцисс. Число новых клеток, образующихся в эту фазу, соответствует примерно числу отмерших.

Пятая стадия – *фаза старости* (затухания роста), когда количество клеток снижается за счет отмирания и автолиза.

Каждой фазе развития соответствует определенное содержание свободных внутриклеточных аминокислот, полипептидов, белка, растворимых фосфатов и полифосфатов, а также РНК. Изменение этих физиологически важных соединений и обуславливает переход клеток из одной фазы роста в другую.

Непрерывное культивирование осуществляют в установках – хемостате или турбидостате, при постоянном притоке свежей питательной среды и выведении продуктов обмена. В таких оптимальных условиях период логарифмического роста может продолжаться безгранично долго. Непрерывное культивирование используется при изучении физиологии микроорганизмов и в технологических процессах, основанных на жизнедеятельности микроорганизмов.

Бактериальные популяции, в которых все клетки делятся одновременно, называют синхронными, их используют для изучения физиологических процессов, протекающих при клеточном делении.

4.2 Строительный и энергетический обмен веществ микроорганизмов и роль ферментов

Основу жизнедеятельности микроорганизмов, как и всех живых существ, составляет обмен веществ (метаболизм) – совокупность химических превращений веществ в клетке. В результате ряда превращений из простых питательных веществ среды строятся сложные органические вещества микробной клетки. Этот процесс получил название *анаболизма*, или *строительного (конструктивного) обмена*. Для его осуществления, а также для поддержания других жизненных функций (роста, размножения, движения и др.)

микроорганизмам необходим постоянный приток энергии, которую они получают в результате распада поступающих в клетку питательных веществ. Этот процесс называют *катаболизмом*, или *энергетическим обменом*. Анаболизм и катаболизм в совокупности составляют обмен веществ организма в целом.

Обмен веществ неразрывно связан с процессом поступления питательных веществ в микробную клетку. Для попадания внутрь клетки находящиеся в среде питательные вещества должны быть в низкомолекулярной форме, поэтому сложные органические вещества – полимеры во внешней среде подвергаются превращениям при участии ферментов. В процессе катаболизма полимеры вначале расщепляются на небольшие фрагменты (мономеры), например сахара, жирные кислоты и др., которые затем превращаются в ряд органических кислот и фосфорных эфиров. Из них вначале синтезируются основные компоненты или строительные блоки клетки (аминокислоты, пуриновые и пиримидиновые основания, фосфаты Сахаров, органические кислоты и др.), затем полимерные макромолекулы (белки, нуклеиновые кислоты, запасные вещества, компоненты клеточной стенки и т. п.), специфичные для данного организма.

Следовательно, основу анаболизма (строительного обмена) составляют биосинтетические реакции, приводящие к синтезу клеточного вещества тела микроорганизмов и идущие с затратой энергии, которая образуется в результате окислительно-восстановительных превращений питательных веществ внутри клетки (катаболизма).

Микроорганизмы обладают исключительным разнообразием процессов обмена веществ: у них имеются разные способы добывания энергии и весьма различные потребности в питательных веществах для построения веществ тела. В то же время обмен веществ у них имеет много общего с обменом веществ прочих живых организмов. Строительные блоки, аккумуляторы энергии (АТФ), пути расщепления Сахаров и природа дыхательной цепи являются универсальными для всего живого на Земле.

У микроорганизмов часто очень трудно разграничить энергетические процессы и процессы, связанные лишь со строительным обменом. В большинстве случаев питательные вещества (белки, углеводы, органические кислоты и т. п.), потребляемые микроорганизмами, одновременно служат источником питания для построения веществ своего тела и источником энергии. Эти процессы будут изложены дальше.

Рассмотрим особенности и роль биологических катализаторов процессов обмена веществ у микроорганизмов — ферментов, являющихся белками. Катализируемая ферментом реакция начинается со связывания субстрата с ферментным белком. Каждый фермент обладает строгой субстратной специфичностью (взаимодействует только с одним субстратом) и определенной специфичностью действия (катализирует лишь одно из многих превращений, которым может подвергаться данный субстрат).

Однокомпонентные ферменты – это простые белки (протеины), например уреазы, расщепляющая мочевины. Большинство ферментов относится к сложным белкам (протеидам), состоящим из белка и добавочной группы. Это двухкомпонентные ферменты, у которых в качестве добавочной группы могут быть различные низкомолекулярные соединения – коферменты и простетические группы, различающиеся по прочности соединения с белковой частью. Под коферментом обычно подразумевают добавочную группу, легко отделяющуюся от белковой части после присоединения к ней фрагмента субстрата и передающую этот фрагмент добавочной группе другого фермента. Так, коферменты имеются у дегидрогеназ, катализирующих окисление различных субстратов путем отнятия водорода (дегидрирование). Роль коферментов играют большинство витаминов (Е, К, Q, В₆, В₁₂, С, Н и др.) или соединения, построенные с участием витаминов, например, коэнзим А, а также НАД (никотинамидадениндинуклеотид) и ФАД (флавинадениндинуклеотид) – коферменты дегидрогеназ. В состав НАД входит никотиновая кислота – витамин В₃(РР), в состав ФАД – рибофлавин (витамин В₂). Простетическая группа – это добавочная группа, прочно

связанная с белковой частью, т. е. не отделяющаяся от нее. Примером простетической группы может служить гематин, в составе которого имеется железо (каталаза, пероксидаза, цитохромоксидаза). Простетической группой, также содержащей железо, является гем у ферментов цитохромной системы. Белковая часть фермента определяет его специфические свойства, а добавочные группы, как правило, – каталитическую активность. У каждого фермента имеется определенный температурный оптимум действия, при котором отмечается его наибольшая активность. Нагревание до 80-100° С необратимо инактивирует фермент, так как при этом происходит денатурация его белковой части. При температуре около 0°С и ниже деятельность ферментов замедляется и в большинстве случаев приостанавливается. Большое влияние на активность ферментов оказывает величина рН, для каждого из них существует свой оптимум.

По характеру действия ферменты подразделяются на *экзоферменты* (экстрацеллюлярные), которые выделяются в окружающую среду, и *эндоферменты* (интрацеллюлярные), которые прочно связаны с клеточными структурами (митохондриями, цитоплазматической мембраной и мезосомами) и действуют внутри клетки. И те, и другие играют важную роль в жизнедеятельности микроорганизмов. Экзоферменты катализируют реакции вне клетки. Обычно во внешнюю среду выделяются гидролазы (гидролитические ферменты), участвующие в расщеплении сложных веществ питательной среды, обладающих большим молекулярным весом (белков, жиров, крахмала, целлюлозы, пектиновых веществ и др.) и не способных проникать в клетку в неизменном виде. Гидролазы расщепляют их до более простых соединений – аминокислот, Сахаров, органических кислот, которые могут поглощаться клеткой в процессе питания и использоваться ею в строительном обмене. К эндоферментам относятся оксидоредуктазы (окислительно-восстановительные ферменты), трансферазы (ферменты переноса) и др., играющие важную роль в энергетическом обмене.

Ферменты делятся по типу важнейших биохимических процессов, лежащих в основе жизнедеятельности любого организма на шесть классов, которые подробно рассматриваются в курсе «Биохимия».

4.3 Строительный обмен микроорганизмов

Для синтеза основных органических веществ, из которых строятся важнейшие структурные элементы, а также для своего роста и размножения микроорганизмы нуждаются в поступлении разнообразных питательных веществ извне. Потребности микроорганизмов в питательных веществах определяются в основном элементарным составом их клеток.

Химический состав клеток микроорганизмов. Основными химическими элементами, входящими в состав клеток микроорганизмов, являются *элементы – органогены* (углерод, азот, кислород и водород); *минеральные*, или *зольные* элементы (S, P, K, Mg, Mn, Fe, Na, Cl, Ca); *микроэлементы* (бор, молибден, цинк, медь, бром, йод, кобальт и др.).

Элементный состав клеток микроорганизмов характеризуется следующими показателями (в % от сухой массы): углерод 50, кислород 20, азот 15, водород 8, сера 3, фосфор 1, прочие элементы – 3. Из этих показателей видно, что органогены (C, N, O и H) содержатся в клетках в наибольшем количестве. В заметных количествах обнаруживаются S и P. Все эти элементы связаны в клетке в различные соединения, из которых 75-85% приходится на долю воды, 15-25% – на «сухое вещество», в котором 2-14% представлены золой, а остальная часть органическими соединениями (белками, углеводами, липидами и др.). Белки микроорганизмов состоят из тех же аминокислот, что и белки животных и растений. Наибольшее значение из них имеют нуклеопротеиды, играющие важную роль в процессах роста и размножения микроорганизмов и участвующие в передаче наследственных признаков. Углеводы в микробной клетке представлены в основном полисахаридами (гликоген, а также декстран и леван,

образующие капсулы бактерий и др.). Липиды входят главным образом состав клеточной стенки и цитоплазматической мембраны. Это нейтральные липиды (триглицериды), фосфолипиды, липопротеиды, гликопептиды.

Потребности микроорганизмов в питательных веществах. Для осуществления нормальной жизнедеятельности микроорганизмы нуждаются прежде всего в воде. Кроме того, они должны получать из питательной среды в необходимых количествах все содержащиеся в их клетках элементы. И в зависимости от того, какие элементы поступают в клетку из веществ питательной среды, последние называют источниками углерода, азота, фосфора, серы и т.д.

Наиболее важными из элементов являются органогены, из которых строятся все органические вещества микробной клетки, в первую очередь белки. Водород и кислород все микроорганизмы получают из воды. Об источниках углерода и азота будет сказано.

Минеральные элементы необходимы для нормальной жизнедеятельности микроорганизмов, хотя потребность в них невелика. Наиболее важное значение имеют сера и фосфор.

Сера необходима для синтеза серосодержащих аминокислот (цистина, цистеина, гомоцистеина, метионина), без которых невозможен синтез белков. Большинство микроорганизмов может использовать серу из сернокислых солей. Фосфор входит в состав важных органических соединений клетки (нуклеиновых кислот, фосфолипидов, коферментов и др.). Некоторые органические соединения фосфора (АТФ, АДФ) используются в живых организмах в качестве аккумуляторов энергии, высвобождающейся в ходе окислительных процессов.

Кроме того, микроорганизмы нуждаются и в микроэлементах, потребляемых ими в ничтожно малых количествах, но являющихся составной частью ферментов, регулирующих и осуществляющих обмен веществ у живых организмов. Например, железо и медь входят в состав ферментов цитохромной системы, играющих роль переносчиков кислорода в процессах дыхания.

Кроме основных питательных веществ многим гетеротрофным микроорганизмам необходимы так называемые *дополнительные факторы роста* (ростовые вещества) – витамины, аминокислоты, пуриновые и пиримидиновые основания, которые не синтезируются в их клетках. Они необходимы микроорганизмам в очень малых дозах для синтеза различных компонентов клетки (витамины для синтеза некоторых ферментов, аминокислоты – для синтеза белков, пуриновые и пиримидиновые основания – для синтеза ДНК и РНК). Влияние дополнительных факторов на рост лишь косвенное.

Вопросы для самоконтроля

1. Рост и размножение бактерий.
2. Строительный и энергетический обмен веществ микроорганизмов и роль ферментов
3. Строительный обмен микроорганизмов

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Основная

1. Мудрецова-Висс, К.А. Микробиология, санитария и гигиена / К. А. Мудрецова-Висс, В. П. Дедюхина. - 4-е изд., испр. и доп. – М. : ИД ФОРУМ : Инфра-М, 2010. – 400 с.
2. Санитарная микробиология [Электронный ресурс] / Р. Г. Госманов. – 1-е изд. - Электрон. текстовые дан. – СПб.: Лань, 2010. – 240 с.

Дополнительная

1. Вербина, Н.М. Гидромикробиология с основами общей микробиологии. – М. : «Пищевая промышленность», 1980. – 288 с.

Лекция 5

ГЕНЕТИКА МИКРООРГАНИЗМОВ

5.1 Организация генетического материала бактерий. Генотип и фенотип

Наследственная информация хранится у бактерий в форме последовательности нуклеотидов ДНК, которые определяют последовательность аминокислот в белке.

Каждому белку соответствует свой ген, т.е. дискретный участок

На ДНК, отличающийся числом и специфичностью последовательности нуклеотидов.

Свойства микроорганизмов, как и любых других организмов, определяются их генотипом, т.е. совокупностью генов данной особи. Термин «геном» в отношении микроорганизмов – почти синоним понятия «генотип». Размеры генома определяются количеством нуклеотидных пар оснований (н.п.). Геном бактерий имеет гаплоидный набор генов. Бактериальный геном состоит из генетических элементов, способных к

Самостоятельной репликации (воспроизведению), т.е. репликонов.

Репликонами являются бактериальная хромосома и плазмиды.

Фенотип представляет собой результат взаимодействия между генотипом и окружающей средой, т.е. проявление генотипа в конкретных условиях обитания. Фенотип микроорганизмов хотя и зависит от окружающей среды, но контролируется генотипом, так как характер и степень возможных для данной клетки фенотипических изменений определяются набором генов, каждый из которых представлен определенным участком молекулы ДНК.

5.2 Виды изменчивости у бактерий

В основе изменчивости лежит либо изменение реакции генотипа на факторы окружающей среды, либо изменение самого генотипа в результате мутации генов или их рекомбинации. В связи с этим фенотипическую изменчивость подразделяют на наследственную и ненаследственную.

Ненаследственная (средовая, модификационная) изменчивость обусловлена влиянием внутри- и внеклеточных факторов на проявление генотипа. При устранении фактора, вызвавшего модификацию, данные изменения исчезают.

Наследственная (генотипическая) изменчивость, связанная с мутациями, – мутационная изменчивость. Наследственная изменчивость, связанная с рекомбинациями, называется рекомбинационной изменчивостью.

5.3 Мутации бактерий и их разновидности

Основу мутации составляют изменения последовательности нуклеотидов в ДНК, полная или частичная их утрата, т.е. происходит структурная перестройка генов, проявляющаяся фенотипически в виде измененного признака.

Мутации определяются изменениями последовательности нуклеотидов в ДНК. Изменения последовательности нуклеотидов в ДНК могут быть следствием разных процессов: ошибка при репликации, выпадение участков (делеция), перемещение отдельного участка относительно другого (транслокация) и др.

Мутации у бактерий обнаруживаются по изменению любого известного признака микроорганизма (например, способность синтезировать аминокислоту, чувствительность к антимикробным препаратам и др.). Существуют различные типы мутаций. По происхождению мутации могут быть спонтанными или индуцированными. Первые возникают без вмешательства экспериментатора, вторые – в результате воздействия мутагенов на бактериальную популяцию, т.е. физических, химических или биологических факторов, способных вызывать мутацию. К мутагенам относятся различные виды

радиации, температура, ряд химических соединений (нитраты, нитриты, бромурцил, 2-аминопурин, нитрозогуанидин и др.).

Мутации подразделяют на прямые и обратные, если речь идет о направлении мутационного изменения. Мутации, возникающие в геноме «дикого типа» у бактерий в естественных условиях обитания, называются прямыми. Образовавшиеся особи являются мутантами. Мутации, завершающиеся возвратом от мутантного типа к дикому, называются обратными, или реверсией. Особи, возникшие в результате обратных мутаций, называются ревертантами. В настоящее время отдельные реверсии и лежащие в их основе механизмы изучены лишь у бактерий и вирусов. Предполагается достаточно универсальный характер этих процессов. Реверсии возникают под действием тех же факторов окружающей среды, которые вызывают появление прямых мутаций. Реверсия может быть «истинной» в результате восстановления первоначального состояния мутантного гена; если она происходит за счет дополнительной мутации, то называется супрес-сорной мутацией.

Большинство происходящих в ДНК изменений приводит к вредным мутациям либо вызывает гибель микроорганизмов. Поэтому все клетки имеют особые механизмы реконструкции, исправления повреждений, называемые репарационными.

Одной из форм мутаций является диссоциация (от лат. *dissociatio* – расщепление) – возникновение в популяции микроорганизмов особей, отличающихся от исходных микроорганизмов внешним видом и структурой колоний, так называемых S-и R-форм (от англ. *smooth* – гладкий, *rough* – шероховатый). S-формы колоний – круглые, влажные, с блестящей гладкой поверхностью, ровными краями; R-формы образуют колонии неправильной формы, непрозрачные, сухие с зазубренными краями и неровной шероховатой поверхностью.

5.4 Генетические рекомбинации. Трансформация, трансдукция и конъюгация

Рекомбинация (ре + лат. *combinatio* – соединение) – возникновение новых последовательностей ДНК в результате разрывов и последующих восстановлений ее молекул. В итоге таких изменений ДНК бактерий появляются так называемые рекомбинантные штаммы, или рекомбинанты.

В процессе генетического переноса участвуют бактерия-реципиент и бактерия-донор. Степень участия их неравномерна: в реципиентную клетку попадает лишь фрагмент экзогенной ДНК бактерии-донора, который взаимодействует с цельной хромосомой реципиента, в результате чего происходит частичное перераспределение (рекомбинация) генетического материала с образованием рекомбинанта.

Трансформация (от лат. *transformatio* – превращение) заключается в том, что ДНК, выделенная из бактерий в свободной растворимой форме, передается бактерии-реципиенту. При трансформации рекомбинация происходит, если ДНК бактерий родственны друг другу. В этом случае возможен обмен гомологичных участков собственной и проникшей извне ДНК.

Трансдукция (от лат. *transductio* – перенос, перемещение) – передача ДНК от бактерии-донора к бактерии-реципиенту при участии бактериофага. Различают неспецифическую (общую) трансдукцию, при которой возможен перенос любого фрагмента ДНК донора, и специфическую – перенос определенного фрагмента ДНК донора только в определенные участки ДНК реципиента.

Передача генетического материала от клетки-донора в клетку-реципиент путем непосредственного контакта клеток называется конъюгацией, которая впервые была обнаружена Д.ж.Ледербергом и Э.Тейтумом в 1946 г.

Необходимым условием для конъюгации является наличие в клетке-доноре трансмиссивной плазмиды. Трансмиссивные плазмиды кодируют половые пили, образующие конъюгационную трубочку между клеткой-донором и клеткой-реципиентом, по которой плазмидная ДНК передается в новую клетку.

Плазмиды – внехромосомные мобильные генетические структуры бактерий, представляющие собой замкнутые кольца двунитчатой ДНК. По размерам составляют 0,1-5 % ДНК хромосомы. Плазмиды способны автономно копироваться (реплицироваться) и существовать в цитоплазме клетки, поэтому в клетке может быть несколько копий плазмид. Плазмиды могут включаться (интегрироваться) в хромосому и реплицироваться вместе с ней. Различают трансмиссивные и нетрансмиссивные плазмиды. Трансмиссивные (конъюгативные) плазмиды могут передаваться из одной бактерии в другую.

Термин «плазмиды» впервые введен американским ученым Дж. Ледербергом (1952) для обозначения полового фактора бактерий. Плазмиды несут гены, не обязательные для клетки-хозяина, придают бактериям дополнительные свойства, которые в определенных условиях окружающей среды обеспечивают их временные преимущества по сравнению с бесплазмидными бактериями.

У бактерий различных видов обнаружены R-плазмиды, несущие гены, ответственные за множественную устойчивость к лекарственным препаратам – антибиотикам, сульфаниламидам и др., F-плазмиды, или половой фактор бактерий, определяющий их способность к конъюгации и образованию половых пилей, Ent-плазмиды, детерминирующие продукцию энтеротоксина.

Плазмиды могут определять вирулентность бактерий, например возбудителей чумы, столбняка, способность почвенных бактерий использовать необычные источники углерода, контролировать синтез белковых антибиотикоподобных веществ – бактериоцинов, детерминируемых плазмидами бактериоциногении, и т.д. Существование множества других плазмид у микроорганизмов позволяет полагать, что аналогичные структуры широко распространены у самых разнообразных микроорганизмов.

Плазмиды подвержены рекомбинациям, мутациям, могут быть элиминированы (удалены) из бактерий, что, однако, не влияет на их основные свойства. Плазмиды являются удобной моделью для экспериментов по искусственной реконструкции генетического материала, широко используются в генетической инженерии для получения рекомбинантных штаммов. Благодаря быстрому самокопированию и возможности конъюгационной передачи плазмид внутри вида, между видами или даже родами плазмиды играют важную роль в эволюции бактерий.

Вопросы для самоконтроля

1. Организация генетического материала бактерий. Генотип и фенотип
2. Виды изменчивости у бактерий
3. Мутации бактерий и их разновидности
4. Генетические рекомбинации. Трансформация, трансдукция и конъюгация

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Основная

1. Мудрецова-Висс, К.А. Микробиология, санитария и гигиена / К. А. Мудрецова-Висс, В. П. Дедюхина. - 4-е изд., испр. и доп. – М. : ИД ФОРУМ : Инфра-М, 2010.–400 с.
2. Санитарная микробиология [Электронный ресурс] / Р. Г. Госманов.–1-е изд. - Электрон. текстовые дан. – СПб.: Лань, 2010. – 240 с.

Дополнительная

1. Вербина, Н.М. Гидромикробиология с основами общей микробиологии. – М. : «Пищевая промышленность», 1980. – 288 с.

Лекция 6

ВЛИЯНИЕ ФАКТОРОВ ВНЕШНЕЙ СРЕДЫ НА МИКРООРГАНИЗМЫ

Жизнедеятельность микроорганизмов тесно связана с окружающей средой. Чем благоприятнее условия окружающей среды для данного микроорганизма, тем интенсивнее протекают его развитие и жизнедеятельность. Условия среды обитания микроорганизмов обуславливаются тремя группами факторов: физическими, химическими и биологическими.

По отношению к каждому фактору можно выделить три кардинальные точки, определяющие не только интенсивность развития микроорганизмов, но и возможность их развития и существования – *минимум*, при котором жизнедеятельность едва проявляется; *максимум*, выше которого она практически прекращается, и *оптимум*, при котором жизнедеятельность микроорганизмов проявляется с наибольшей интенсивностью.

6.1 Физические факторы

Влажность среды. Жизнедеятельность микроорганизмов возможна только при наличии влаги в среде. Вода входит в состав их клеток (до 85%). Она создает нормальное тургорное давление. Все химические реакции, протекающие в клетках, требуют наличия водной среды. Кроме того, вода должна находиться в доступной для организма форме. Многие питательные вещества могут проникать внутрь клетки лишь в растворенном состоянии.

Микроорганизмам недоступна связанная влага, а необходима свободная – капельно-жидкостная влага (минимум влажности 20-30%). Плесневые грибы могут развиваться без капельно-жидкостной воды, но во влажной атмосфере (минимум влажности лежит около 10-15%), поэтому они могут расти на стенах сырых помещений, на пищевых продуктах и т. п. Микроорганизмы, нуждающиеся в ничтожном количестве влаги, называются *ксерофильными*.

Отношение микроорганизмов к высушиванию различно. Например, уксуснокислые бактерии очень чувствительны к влаге и при высушивании быстро погибают, а молочнокислые бактерии в высушенном состоянии могут сохранять свою жизнеспособность десятки лет, на чем основано применение сухих заквасок в производстве кисломолочных продуктов. Особенно хорошо переносят высушивание спорообразующие бактерии. На чувствительности микроорганизмов к влажности среды основано консервирование пищевых продуктов путем высушивания.

Концентрация растворенных веществ. Нормальная жизнедеятельность микроорганизмов протекает лишь при оптимальных концентрациях растворенных веществ в среде.

Для большинства микроорганизмов оптимальной концентрацией для активного обмена веществ является 0,5% сахара или соли в среде. В таком растворе клетки микроорганизмов находятся в состоянии *тургора* (цитоплазма плотно прилегает к клеточной стенке). Осмотическое давление в растворе в этом случае немного меньше внутриклеточного, которое у микроорганизмов обычно достигает 0,5-2 мПа, но имеются и отклонения. У почвенных бактерий внутриклеточное давление 5- 8 мПа, у некоторых плесневых грибов оно может достигать 20 мПа.

При более высокой концентрации сахара или соли в питательной среде наступает *плазмолиз* клетки – она обезвоживается, цитоплазма отходит от клеточной стенки. В состоянии плазмолиза в клетке не происходит процессов питания, размножения, это состояние клетки называется *анабиозом*. На анабиозе основано консервирование различных продуктов с помощью сахара или соли.

При ничтожном количестве солей в среде (в дистиллированной воде) в клетку начинает поступать большое количество воды, она набухает, теряет форму, может произойти разрыв оболочки и клетка погибнет – состояние *плазмолитиза*. При изменении привычного

осмотического давления наступают существенные изменения в физиологии микроорганизмов. Так, при перенесении пресноводных светящихся бактерии в концентрированный раствор соли явление свечения исчезает, то же самое наблюдается при помещении в пресную воду морских светящихся бактерий.

Существуют микроорганизмы, приспособившиеся к обитанию в средах с высоким осмотическим давлением сахара, например, дрожжи *Zygosaccharomyces*, обитающие в меде и варенье с концентрацией сахара до 90% (40-50 мПа). Такие микроорганизмы называются *осмофильными*. Микроорганизмы, устойчивые к высоким концентрациям поваренной соли, называются *галофильными*. Они выносят концентрации NaCl до 15-20% (0,9-10 мПа). Соответственно у них высокое и внутриклеточное давление. Это в основном обитатели соленых озер и солончаковых почв.

На чувствительности микроорганизмов к повышенным концентрациям веществ в среде основаны способы консервирования пищевых продуктов при помощи сахара или соли (гнилостные бактерии погибают при 5-10% NaCl). Многие микроорганизмы погибают при концентрации соли более 15%.

Температура. Это один из главных факторов, определяющих не только интенсивность развития, но и саму возможность существования микроорганизмов. Каждый микроорганизм имеет свой оптимум, минимум и максимум температуры. Эти три точки, определяющие развитие микроорганизмов, называют *кардинальными*. Для различных микроорганизмов они имеют свои значения. По отношению к температуре все микроорганизмы делятся на психрофильные, мезофильные и термофильные.

Психрофильные микроорганизмы – это в основном обитатели холодных источников, северных морей, почв и микроорганизмы, развивающиеся на охлажденных продуктах и вызывающие их порчу. К психрофилам относятся многие светящиеся морские бактерии.

Максимальная температура их развития равна 30° С, оптимальная – 8–12° С, минимальная – 0 – минус 7° С и даже ниже, что зависит от точки замерзания среды.

Мезофильные микроорганизмы – наиболее широко распространены в природе. К ним относятся микроорганизмы, обитающие в воде, воздухе, почве, в живых организмах. Они представлены как сапрофитами, так и паразитами. Мезофилами являются представители дрожжей, плесневых грибов, молочнокислых бактерий, группы кишечной палочки, протей, стафилококков, фекального стрептококка и многих других. Возбудители порчи пищевых продуктов в основном представлены мезофилами. Оптимальная температура их развития равна 25-40° С, минимальная – 5-10° С, максимальная – 45-50° С.

Термофильные микроорганизмы также широко распространены в природе. Они могут обитать в горячих источниках, в почвах и водоемах жарких стран, в песках пустынь, в кишечнике человека и животных, так как имеют устойчивые споры. Оптимальная температура их развития составляет 40-60° С, минимальная около 30° С и максимальная 70-80° С. В особый род были выделены бактерии, развивающиеся в горячих источниках – *Thermusaquaticus*.

С жизнедеятельностью термофильных микроорганизмов связано явление термогенеза.

Среди мезофилов встречаются *термотолерантные* микроорганизмы, которые при оптимальной температуре развития 30° С имеют высокую максимальную ° 55-60° С.

Температуры, превышающие максимальные температуры роста, губительно влияют на микроорганизмы. Неспороносные бактерии при нагревании до 60-70° С отмирают через 15-30 мин, а при 80-100° С через 0,5-3 мин. Дрожжи и плесени погибают уже при температуре 50-60° С, а их споры при 65-80° С. Более устойчивыми к нагреванию являются споры бактерий, которые при нагревании до 120° С во влажной среде погибают через 20-30 мин. В высушенном состоянии споры бактерий более устойчивы (при температуре 160-170° С погибают через 1-2 ч).

На губительном действии высоких температур основаны процессы пастеризации, стерилизации и тиндализации (дробной стерилизации).

Биохимическая основа тепловой смерти микроорганизмов еще недостаточно ясна. Очевидно их гибель наступает вследствие денатурации белков и инактивации ферментов, для чего достаточно воздействие температуры порядка 60° С и выше. Особенно чувствительны к тепловой денатурации ферменты цикла трикарбоновых кислот. Возможно, что гибель микроорганизмов при высоких температурах отчасти является результатом тепловой инактивации РНК и повреждения цитоплазматической мембраны.

Температуры ниже минимальных не убивают микроорганизмы, а только приостанавливают их развитие, потому низкие температуры используют для хранения скоропортящихся продуктов. Микроорганизмы переносят и очень низкие температуры, даже температуру жидкого воздуха (минус 190°С) и жидкого водорода (минус 252° С). Например, некоторые представители группы кишечной палочки, грибов и дрожжей не погибали в течение длительного времени при минус 190° С, споры плесеней сохраняли жизнеспособность при этой температуре в течение нескольких месяцев. Даже после [0-часового пребывания при температуре минус 252°С бактерии и споры оставались жизнеспособными.

Очевидно это объясняется тем, что при быстром замораживании жидкая среда, в которой находятся микроорганизмы, превращается в лед, а вода внутри клетки либо остается в переохлажденном состоянии и не превращается в лед, либо образуются очень мелкие кристаллы льда, которые не повреждают клетку. При замедленном охлаждении происходит образование крупных кристаллов льда, повреждающих клетку при температурах, близких к 0°С.

Лучистая энергия. К различным видам лучистой энергии относятся солнечный свет, ультрафиолетовые (УФ), рентгеновские лучи и радиоактивные излучения. Чтобы излучение подействовало на какое-либо вещество живой клетки, оно должно этим веществом поглощаться.

Космические, рентгеновские лучи и искусственные коротковолновые излучения (а-, В- и у-лучи), возникающие в результате разнообразных ядерных реакций и приобретающие все большее значение в связи с развитием ядерной физики, называются *ионизирующими излучениями*. Энергия получается в виде квантов. Она настолько велика, что при поглощении ее веществом кванты выбивают электроны из всех его атомов – происходит ионизация.

Солнечный свет необходим только фотоавтотрофным микроорганизмам и некоторым грибам, на остальные микроорганизмы, особенно на патогенные, свет оказывает губительное влияние. Большое значение имеет солнечный свет для самоочищения водоемов. В прозрачную воду солнечные лучи проникают на глубину до 2 м, резко снижается их проникающая способность в мутной воде и особенно в загрязненных водоемах (не более 0,5 м).

УФ-лучи с длиной волны 250-260 нм являются наиболее активной частью солнечного спектра. Они вызывают либо гибель микроорганизмов, либо мутагенный эффект в зависимости от вида микроорганизмов, дозы и продолжительности облучения. Гибель микроорганизмов вызывается, с одной стороны, воздействием УФ-лучей непосредственно на клетки, а с другой стороны неблагоприятным влиянием на них облученного субстрата. УФ-лучи адсорбируются важнейшими веществами клетки – белками, нуклеиновыми кислотами и вызывают их химические изменения, повреждающие клетку. Так, летальный эффект УФ-лучей с длиной волны около 260 нм объясняется тем, что максимум поглощения их пуриновыми и пиримидиновыми основаниями, входящими в состав ДНК и РНК, лежит именно в этой области. В облучаемой среде могут образоваться вещества (перекись водорода, озон), губительно действующие на микроорганизмы.

Из всех микроорганизмов наименее устойчивы к УФ-лучам бактерии. Среди неспорозных форм особенно чувствительны к облучению бактерии, выделяющие пигмент в окружающую среду, например *Pseudomonas fluorescens*. Микрококки, сарцины и другие бактерии, содержащие пигменты в клетках – каротиноиды, меланины – весьма

устойчивы к действию УФ-лучей, так как каротиноидные пигменты обладают защитными свойствами против УФ-лучей.

Споры бактерий значительно устойчивее к действию УФ-лучей, чем вегетативные клетки (для уничтожения спор энергии требуется в 4-5 раз больше), конидии грибов более устойчивы, чем мицелий.

УФ-лучи применяются для дезинфекции воздуха в медицинских и производственных помещениях, холодильных камерах, для обеззараживания производственного оборудования, воды. Применение УФ-облучения ограничено вследствие их невысокой проникающей способности, позволяющей уничтожать только микроорганизмы, находящиеся на поверхности облучаемых предметов.

УФ-лучи, поглощаясь веществом, вызывают возбуждение молекул, т. е. переход электронов на более высокий энергетический уровень.

Рентгеновские лучи, или X-лучи, являются коротковолновым электромагнитным излучением, обладающим высокой проникающей способностью. Эффект воздействия рентгеновских лучей на микроорганизмы зависит от дозы облучения. В малых дозах эти лучи повышают интенсивность жизненных процессов, а в больших изменяют морфологические и физиологические свойства микробов, задерживают их рост и размножение и даже приводят к гибели клеток. Микроорганизмы по сравнению с высшими организмами менее чувствительны к рентгеновским лучам. Наименее устойчивы к лучам Рентгена вирусы, наиболее устойчивы дрожжи и плесени, бактерии занимают промежуточное положение. Споры бактерий в 10-12 раз устойчивее к рентгеновским лучам, чем вегетативные клетки.

Радиоактивные излучения возникают при распаде радиоактивных элементов. Наибольшей проникающей способностью обладают лучи, действие которых аналогично действию рентгеновских лучей. В малых дозах они стимулируют рост клеток, в больших вызывают бактерицидный эффект. Гибель микроорганизмов происходит при дозах облучения, в сотни и тысячи раз превосходящих смертельную дозу для животных. При дозе ниже смертельной возможно восстановление нормальной жизнедеятельности – реактивация микроорганизмов.

Наиболее чувствительны к радиоактивным излучениям грамотрицательные бактерии, наиболее устойчивы грамположительные бактерии. Слабой устойчивостью к этим видам излучений отличаются психрофильные бактерии. Очень устойчивы к ионизирующим излучениям некоторые микрококки (*Micrococcus radiodurans*) и споры *Bacillus* и *Clostridium*. По чувствительности к радиоактивным излучениям плесневые грибы и некоторые виды дрожжей близки к бактериальным спорам. Губительное действие радиоактивных излучений на микроорганизмы обусловлено их ионизирующей способностью. Они вызывают радиолитиз воды в клетках и субстратах с образованием свободных радикалов, атомарного водорода, гидроксидов. В присутствии кислорода образуются соединения типа перекисей, вступающие во взаимодействие с другими веществами, что сопровождается возникновением большого количества химических реакций, не свойственных нормально живущей клетке. В результате наступает глубокое нарушение обмена веществ, разрушаются ферменты, изменяются внутриклеточные структуры. Особой чувствительностью к радиоактивному излучению обладает ДНК.

Радиоактивные излучения применяются для холодной стерилизации продуктов, в консервной промышленности, бактериологических препаратов, медикаментов и др., чтобы предотвратить изменения качества объекта стерилизации в результате денатурации белков и разрушения полисахаридов, витаминов и т. п., неизбежного при термической стерилизации.

Радиоволны. Это электромагнитные волны, характеризующиеся различной длиной волны: короткие волны (ВЧ) длиной от 10 до 50 м и ультракороткие (УВЧ) длиной 10 м и меньше, губительно действующие на микроорганизмы. При прохождении через среду коротких и ультракоротких радиоволн возникают переменные токи высокой частоты, что

обуславливает быстрый нагрев среды до высокой температуры. Гибель микроорганизмов наступает вследствие теплового эффекта.

Ультразвуковое воздействие. Звуковые колебания делятся на инфразвуки, слышимые звуки и ультразвуки (УЗ). УЗ – это механические колебания с частотами выше 20000 колебаний в секунду (20 кГц), что находится за пределами частот, воспринимаемых человеком.

УЗ-волны распространяются в твердых, жидких и газообразных средах, несут большой запас механической энергии и вызывают ряд физических, химических и биологических изменений. Проходя через жидкость, УЗ-волны вызывают *кавитацию* — образование мелких разрывов, принимающих форму пузырьков под действием сил поверхностного натяжения жидкости. В момент захлопывания кавитационного пузырька возникает мощная гидравлическая ударная волна, вызывающая сильное разрушительное действие.

Механизм действия на микроорганизмы УЗ недостаточно изучен, но считают, что под действием кавитации происходит разрыв оболочки клетки, а иногда и разрушение составных частей клетки. УЗ-колебания ускоряют многие химические реакции, вызывают распад высокомолекулярных соединений, коагуляцию белков, инактивацию ферментов.

Для микроорганизмов губительны УЗ-колебания только определенной мощности, ниже которой даже длительное воздействие не вызывает летального исхода, а обуславливает только снижение ферментативной активности организмов, потерю способности к движению, размножению.

Среди микроорганизмов наиболее чувствительны к действию УЗ-волн бактерии, споры бактерий более устойчивы, чем вегетативные клетки. УЗ легче вызывает гибель палочковидных форм бактерий, чем шаровидных.

Давление и механические сотрясения. Микроорганизмы довольно устойчивы к давлению и механическим сотрясениям. Давление до 50 МПа не оказывает существенного влияния на бактериальные клетки. При давлении выше 60 МПа у большинства микроорганизмов угнетаются процессы роста и размножения, о чем свидетельствуют удлинение лаг-фазы и задержка клеточного деления, когда одноклеточные микроорганизмы образуют длинные нити.

Многие бактерии переносят кратковременное повышение давления до 300 МПа, это очевидно связано с малой чувствительностью белков к давлению. Белки денатурируются лишь при очень высоком гидростатическом давлении – порядка 1000 МПа.

Имеется значительное количество микроорганизмов, обитающих в глубинах океанов, грунтах морей, нефтяных скважинах, подвергающихся постоянно значительному гидростатическому давлению (до 20-30 МПа). Многие из них не могут развиваться при обычном атмосферном давлении. Такие микроорганизмы называются *барофильными*.

Широко распространены также *баротолерантные* микроорганизмы, хорошо переносящие высокое давление, но способные развиваться и при нормальном атмосферном давлении.

К механическим сотрясениям микроорганизмы различных систематических групп относятся по-разному. Сильные и частые сотрясения могут вызвать гибель микроорганизмов, а редкие и слабые даже стимулируют их развитие. Наиболее стойкими к механическим сотрясениям являются подвижные бактерии, обитающие в проточной воде.

6.2 Химические факторы

Концентрация водородных ионов. Реакция среды – это водородный показатель (рН), отражающий степень ее кислотности (рН от 1 до 7) или щелочности (рН от 7 до 14).

Микроорганизмы проявляют свою жизнедеятельность в пределах определенных значений рН. Для одних микроорганизмов эти пределы весьма широкие, для других, наоборот, очень узкие (рис. 62). Так, некоторые плесневые грибы развиваются при рН от 1 до 10, пневмококки при рН от 7 до 8,2, а микобактерии при рН всего лишь от 7,5 до 7,8.

Наиболее кислотолюбивыми микроорганизмами являются автотрофные тионовые бактерии *Thiobacillusthiooxydans*, развитие которых возможно при рН 0,6 (оптимум рН 2,5—3,5). Существуют бактерии, способные развиваться при рН 11. Наиболее благоприятна для большинства бактерий среда с рН 7,0-7,3, для дрожжей и плесневых грибов – с рН 5-6.

Изменения рН в кислую сторону губительно сказываются на гнилостных бактериях, оптимум развития которых лежит в слабощелочной области (рН 7,5). Это свойство используется при консервировании продуктов путем маринования или квашения.

Уксуснокислые бактерии сами активно накапливают кислоту и устойчивы к рН от 3 до 4, поэтому их относят к *ацидофильным* микроорганизмам, а холерный вибрион лучше развивается при рН 9. Такие микроорганизмы называются *алкалофильными*.

К ним относятся также уробактерии, разлагающие мочевины.

Если рН не соответствует оптимальной величине, то микробы не могут нормально развиваться даже при наличии всех необходимых питательных веществ, так как рН оказывает большое влияние на активность ферментов клетки и ее проницаемость.

Кислород и окислительно-восстановительный потенциал. Молекулярный кислород является одним из важнейших факторов внешней среды, определяющим направление биохимических реакций, осуществляемых микроорганизмами в энергетическом обмене.

Ядовитые вещества. Многие химические вещества как неорганические (соли ртути, меди, серебра; окислители – хлор, озон, йод, перекись водорода, хлорная известь, перманганат калия; щелочи и кислоты – едкий натр, сернистая, фтористоводородная, борная кислоты, некоторые газы – сероводород, сернистый, угарный газ), так и органические (спирты, фенолы, альдегиды, особенно формальдегид) оказывают губительное действие на микроорганизмы, механизм которого определяется химической природой этих веществ. Например, формальдегид вступает во взаимодействие с аминными группами аминокислот и пептидов и связывает их, нарушая нормальную жизнедеятельность клеток, фенолы угнетают дыхание микроорганизмов. В основном ядовитые вещества разрушают тонкую структуру клетки, вызывают денатурацию белков, инактивацию ферментов.

Ядовитые вещества либо убивают бактерии (*бактерицидное* действие), либо задерживают их развитие (*бактериостатическое* действие). На этом основано их использование в качестве дезинфицирующих средств и антисептиков).

В малых дозах ядовитые вещества часто стимулируют развитие микроорганизмов.

6.3 Биологические факторы

В природных условиях микроорганизмы подвергаются действию разнообразных биологических факторов. Это в основном продукты жизнедеятельности животных, растений и микроорганизмов, которые могут оказывать как благоприятное (стимуляторы роста, например, гиббереллиновая кислота или витамины), так и губительное воздействие на клетки (ингибиторы роста, например фитонциды), а также антибиотики.

Между микроорганизмами, а также между макро- и микроорганизмами существует два вида взаимоотношений: симбиоз и антагонизм.

Вопросы для самоконтроля

1. Физические факторы
2. Химические факторы
3. Биологические факторы

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Основная

1. Мудрецова-Висс, К.А. Микробиология, санитария и гигиена / К. А. Мудрецова-Висс, В. П. Дедюхина. - 4-е изд., испр. и доп.– М. : ИД ФОРУМ : Инфра-М, 2010.–400 с.
2. Санитарная микробиология [Электронный ресурс] / Р. Г. Госманов.–1-е изд. - Электрон. текстовые дан. – СПб.: Лань, 2010. – 240 с.

Дополнительная

1. Вербина, Н.М. Гидромикробиология с основами общей микробиологии. – М. : «Пищевая промышленность», 1980. – 288 с.

Лекция 7

ЭКОЛОГИЯ МИКРОБОВ. МИКРОФЛОРА ПОЧВЫ. МИКРОФЛОРА ВОЗДУХА

7.1. Экология микроорганизмов

Экология (от греч. oikos – дом, место обитания) микроорганизмов изучает их взаимоотношения друг с другом и с окружающей средой. Как известно, микроорганизмы обнаруживаются в почве, воде, воздухе, на растениях, в организме человека и животных.

Микроорганизмы находятся друг с другом в различных взаимоотношениях. Совместное существование двух различных организмов называется симбиозом (от греч. symbiosis – совместная жизнь). Различают несколько вариантов полезных взаимоотношений: метабиоз, мутуализм, комменсализм, сателлизм.

Симбиоз. Это сожительство двух или нескольких организмов разных видов, чаще идущее на пользу одному из организмов или всем сожителям, но иногда самостоятельное существование одного из симбионтов становится невозможным. Различают три формы симбиотических отношений: комменсализм, мутуализм и паразитизм.

Комменсализм (метабиоз). Это вид сожительства, при котором один из симбионтов живет за счет продуктов жизнедеятельности другого, не причиняя последнему вреда. Например, некоторые микроорганизмы сами не способны расщеплять белки, а живут совместно с микроорганизмами, обладающими этой способностью, усваивая продукты гидролиза белков (аминокислоты).

Мутуализм. Это сожительство, основанное на взаимной выгоде, например совместное существование в природе аэробных и анаэробных бактерий (аэробы, поглощая кислород, создают необходимые для анаэробов восстановительные условия; анаэробы, например *Clostridium pasteurianum*, снабжают аэробов необходимыми азотистыми веществами и витаминами).

В молочнокислых заквасках используются дрожжи и молочнокислые бактерии. Молочная кислота создает рН, благоприятный для развития дрожжей, а витамины, синтезируемые дрожжами, стимулируют развитие молочнокислых бактерий, чрезвычайно требовательных к дополнительным факторам роста. Особенно прочен этот вид сожительства в кефирных зернах.

Паразитизм. Это такой тип взаимоотношений, при котором совместное существование одному из симбионтов приносит выгоду, а другому причиняет вред. Примерами могут служить болезнетворные микроорганизмы и вирусы, являющиеся возбудителями инфекционных заболеваний человека, животных и растений, живущие за счет организма, на котором они паразитируют, бактериофаги, паразитирующие на бактериях, бактерии-паразиты бделловибрионы, паразитирующие на грамотрицательных бактериях и растворяющие (ликвидирующие) их клетки.

Хищничество. Это внеклеточный паразитизм. Хищные бактерии чаще обитают в илах пресных водоемов. Их клетки образуют подвижную колонию – сетку, улавливающую даже крупные бактериальные клетки, которые затем лизируются и используются внутри колоний, а остатки выбрасываются.

Антагонизм. Это разновидность взаимоотношений, при которых один из организмов подавляет или прекращает развитие другого в основном за счет продуктов жизнедеятельности. Примером микробов-антагонистов являются молочнокислые и гнилостные бактерии. Молочнокислые бактерии, вырабатывая молочную кислоту, создают кислую реакцию, препятствуя развитию гнилостных бактерий. Антагонистические отношения часто связаны с выделением в окружающую среду специфических веществ – антибиотиков, действующих губительно на многие микроорганизмы. Они обладают либо широким спектром действия в отношении ряда микроорганизмов, либо избирательным действием к одному из них. Продуцентами

антибиотиков могут быть плесневые грибы (пенициллин, аспергиллин), бактерии (грамцидин) и чаще всего актиномицеты (стрептомицин, биомицин, ауреомицин и антибиотики тетрациклинового ряда: окситетрациклин, хлортетрациклин и др.). Антибиотики применяются в качестве эффективных лечебных препаратов.

Гибель микроорганизмов под влиянием антибиотиков происходит в результате нарушения в строении ядерного аппарата, цитоплазматической мембраны и других клеточных структур, а также ферментных систем, ответственных за биосинтез белка, дыхание, размножение.

У микроорганизмов наблюдается сравнительно легкая адаптация, привыкание к антибиотикам, в результате чего возникают резистентные (устойчивые) к ним формы, а иногда даже зависимые от антибиотиков штаммы, не развивающиеся в их отсутствии, что снижает терапевтический эффект.

Антибиотики используются также в нелечебных целях, в качестве добавок в корм молодняку, птицы и т. п. Например, кормовой биомицин повышает вес животных, яйценоскость кур и т. п. Некоторые нелечебные антибиотики применяют для сохранения мяса, рыбы, например низин, образуемый молочнокислыми стрептококками.

К антибиотикам растительного происхождения относятся фитонциды лука, чеснока, хрена, редьки, горчицы, алоэ и др., проявляющие антагонистическое действие по отношению к плесневым грибам, патогенным коккам, тифозным и дифтерийным бактериям. К антибиотикам животного происхождения относятся лизоцим, содержащийся в слезах, слюне, яичном белке, а также интерферон.

7.2. Микрофлора почвы

Микрофлора почвы характеризуется большим разнообразием микроорганизмов, которые принимают участие в процессах почвообразования и самоочищения почвы, кругооборота в природе азота, углерода и других элементов. В почве обитают бактерии, грибы, лишайники (симбиоз грибов с цианобактериями) и простейшие. На поверхности почвы микроорганизмов относительно мало, так как на них губительно действуют УФ-лучи, высушивание и т. д.

Наибольшее число микроорганизмов содержится в верхнем слое почвы толщиной до 10 см. По мере углубления в почву количество микроорганизмов уменьшается и на глубине 3.4 м они практически отсутствуют.

Состав микрофлоры почвы меняется в зависимости от типа и состояния почвы, состава растительности, температуры, влажности и т.д. Большинство микроорганизмов почвы способны развиваться при нейтральном рН, высокой относительной влажности, при температуре от 25 до 45°C.

В почве живут бактерии, способные усваивать молекулярный азот (азотфиксирующие), относящиеся к родам *Azotobacter*, *Azomonas*, *Mycobacterium* и др. Азотфиксирующие разновидности цианобактерий, или сине-зеленых водорослей, применяют для повышения плодородия рисовых полей. Такие бактерии, как псевдомонады, активно участвуют в минерализации органических веществ, а также восстановлении нитратов до молекулярного азота. Кишечные бактерии (сем. *Enterobacteriaceae*) – кишечная палочка, возбудители брюшного тифа, сальмонеллез, дизентерии – могут попадать в почву с фекалиями. Однако в почве отсутствуют условия для их размножения, и они постепенно отмирают. В чистых почвах кишечная палочка и протей встречаются редко; обнаружение их в значительных количествах является показателем загрязнения почвы фекалиями человека и животных и свидетельствует о ее санитарно-эпидемиологическом неблагополучии (возможность передачи возбудителей инфекционных заболеваний).

Почва служит местом обитания спорообразующих палочек родов *Bacillus* и *Clostridium*. Непатогенные бациллы (*Bac. megatherium*, *Bac. subtilis* и др.) наряду с псевдомонадами, протеем и некоторыми другими бактериями являются аммонифицирующими, составляя группу гнилостных бактерий, осуществляющих

минерализацию белков. Патогенные палочки (возбудитель сибирской язвы, ботулизма, столбняка, газовой гангрены) способны длительно сохраняться в почве.

В почве находятся также многочисленные представители грибов. Грибы участвуют в почвообразовательных процессах, превращениях соединений азота, выделяют биологически активные вещества, в том числе антибиотики и токсины. Токсикообразующие грибы, попадая в продукты питания человека, вызывают интоксикации – микотоксикозы и афлатоксикозы.

Микрофауна почвы представлена простейшими, количество которых колеблется от 500 до 500000 на 1 г почвы. Питаясь бактериями и органическими остатками, простейшие вызывают изменения в составе органических веществ почвы.

7.3 Микрофлора воздуха

Микрофлора воздуха взаимосвязана с микрофлорой почвы и воды. В воздух также попадают микроорганизмы из дыхательных путей и с каплями слюны человека и животных. Солнечные лучи и другие факторы способствуют гибели микрофлоры воздуха. Больше количество микроорганизмов присутствует в воздухе крупных городов, меньшее – в воздухе сельской местности. Особенно мало микроорганизмов в воздухе над лесами, горами и морями. В воздухе обнаруживаются кокковидные и палочковидные бактерии, бациллы и клостридии, актиномицеты, грибы и вирусы. Много микроорганизмов содержится в воздухе закрытых помещений, микробная обсемененность которых зависит от степени уборки помещения, уровня освещенности, количества людей в помещении, частоты проветривания и др. Количество микроорганизмов в 1 м³ воздуха (так называемое микробное число, или обсемененность воздуха) отражает санитарно-гигиеническое состояние воздуха, особенно в больничных и детских учреждениях. Косвенно о выделении патогенных микроорганизмов (возбудителей туберкулеза, дифтерии, коклюша, скарлатины, кори, гриппа и др.) при разговоре, кашле, чиханье больных и носителей можно судить по наличию санитарно-показательных бактерий (золотистого стафилококка и стрептококков), так как последние являются представителями микрофлоры верхних дыхательных путей и имеют общий путь выделения с патогенными микроорганизмами, передающимися воздушно-капельным путем.

С целью снижения микробной обсемененности воздуха проводят влажную уборку помещения в сочетании с вентиляцией и очисткой (фильтрацией) поступающего воздуха; применяют обработку помещений лампами ультрафиолетового излучения.

Состав микрофлоры воздуха разнообразен и значительно изменяется в зависимости от условий. Микроорганизмы в воздухе могут находиться только временно, так как в нем отсутствует необходимая питательная среда. Загрязнение воздуха микробами происходит из почвы, от животных, людей и растений. В воздухе могут находиться споры бактерий, грибов, дрожжи, различные микрококки и др. Воздух верхних слоев атмосферы, а также горный и морской воздух содержит очень мало микроорганизмов. В населенных местах их значительно больше, особенно в летнее время.

Количество микроорганизмов в жилых помещениях зависит от их санитарно-гигиенического состояния, воздух считается чистым при содержании в 1 м³ не более 1500 бактерий и 16 стрептококков. Наиболее загрязняется воздух в помещениях при скоплении людей и плохой работе вентиляции.

Воздух может служить фактором передачи респираторных вирусных заболеваний (ОРВИ), гриппа, туберкулеза, дифтерии, стафилококковой инфекции и др. Патогенные микроорганизмы выделяются больными людьми или бактерионосителями при кашле, чихании и т. п.

Вопросы для самоконтроля

1. Экология микроорганизмов.
2. Микрофлора почвы.
3. Микрофлора воздуха.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Основная

1. Мудрецова-Висс, К.А. Микробиология, санитария и гигиена / К. А. Мудрецова-Висс, В. П. Дедюхина. - 4-е изд., испр. и доп. – М. : ИД ФОРУМ : Инфра-М, 2010.–400 с.
2. Санитарная микробиология [Электронный ресурс] / Р. Г. Госманов.–1-е изд. - Электрон. текстовые дан. – СПб.: Лань, 2010. – 240 с.

Дополнительная

1. Вербина, Н.М. Гидромикробиология с основами общей микробиологии. – М. : «Пищевая промышленность», 1980. – 288 с.

Лекция 8

МИКРОБИОЛОГИЯ ВОДЫ

8.1. Микрофлора воды

Микрофлора воды, являясь естественной средой обитания микроорганизмов, отражает микробный пейзаж почвы, так как микроорганизмы попадают в воду с частичками почвы.

Вместе с тем в воде формируются определенные биоценозы с преобладанием микроорганизмов, адаптировавшихся к условиям местонахождения, т. е. физико-химическим условиям, освещенности, степени растворимости кислорода и диоксида углерода, содержания органических и минеральных веществ и т. д.

В водах пресных водоемов обнаруживаются палочковидные v' (псевдомонады, аэромонады и др.), кокковидные (микрококки) и извитые бактерии. Загрязнение воды органическими веществами сопровождается увеличением анаэробных и аэробных бактерий, а также грибов. Особенно много анаэробов в иле, на дне водоемов. Микрофлора воды выполняет роль активного фактора в процессе самоочищения ее от органических отходов, которые утилизируются микроорганизмами. Вместе с загрязненными ливневыми, тальными и сточными водами в озера и реки попадают представители нормальной микрофлоры человека и животных (кишечная палочка, цитробактер, энтеробактер, энтерококки, клостридии) и возбудители кишечных инфекций – брюшного тифа, паратифов, дизентерии, холеры, лептоспироза, энтеровирусных инфекций и др. Поэтому вода является фактором передачи возбудителей многих инфекционных заболеваний. Некоторые возбудители могут даже размножаться в воде (холерный вибрион, легионеллы).

Вода артезианских скважин практически не содержит микроорганизмов, обычно задерживающихся более верхними слоями почвы. Микрофлора воды океанов и морей также содержит различные микроорганизмы, в том числе светящиеся и галофильные (солелюбивые), например галофильные вибрионы, поражающие моллюски и некоторые виды рыбы, при употреблении которых в пищу развивается пищевая токсикоинфекция.

В воде количество микроорганизмов значительно выше, чем в воздухе, так как многие из них способны жить и развиваться в воде. В 1 мл (см^3) воды поверхностных источников может находиться до миллиона микробов. В артезианской воде микробов очень мало.

Поверхностные воды рек, озер, водохранилищ загрязняются сточными водами населенных пунктов, промышленных предприятий и животноводческих ферм. Микробное загрязнение воды возрастает также после обильных дождей и весеннего половодья. Проточные водоемы (реки, каналы) обладают способностью к самоочищению, количество микробов ниже места загрязнения реки может существенно не изменяться, а через некоторое время чистота воды в реке восстанавливается.

Вода служит фактором передачи кишечных инфекций (дизентерии, холеры, брюшного тифа и др.), возбудители которых попадают в нее со сточными водами. Многие патогенные микроорганизмы (холерный вибрион, возбудитель туберкулеза и др.) могут сохраняться в воде до нескольких месяцев.

На предприятиях питания должна использоваться вода только питьевого качества, прошедшая очистку и обезвреживание.

Основным источником загрязнения водоемов являются сточные воды – бытовые (хозяйственно-фекальные) и промышленные. Сточные воды можно разделить на две большие категории: воды, содержащие нетоксичные органические вещества, и воды, содержащие токсичные органические и минеральные продукты, а также радиоактивные вещества. К сточным водам первой категории до недавнего времени относили бытовые стоки, выпускаемые в водоемы городами и поселками и сточные воды боен, предприятий пищевой, кожевенной и целлюлозной промышленности и т.п., богатые растворенными азот- и углеродсодержащими органическими веществами. Они не представляли собой

опасности для гидробионтов. В настоящее время бытовые стоки, как правило, содержат и токсичные органические соединения – поверхностно-активные вещества, являющиеся основными компонентами моющих средств. Кроме того, бытовым сточным водам присуще значительное бактериальное загрязнение патогенными микроорганизмами, попадающими в них в основном с фекалиями человека и животных и из других источников. Во вторую категорию сточных вод входят стоки различных отраслей металлургической и химической промышленности весьма разнообразные по химическому составу и оказывающие токсическое действие на живое население водоема, благодаря содержанию в них мышьяка, селена, ртути, свинца и т.п.

Загрязнение водоемов бывает первичным и вторичным. Первичное загрязнение возникает в результате попадания в водоем загрязнений из внешних источников и развития аллохтонной микрофлоры, присущей источникам загрязнения, наряду с развитием собственной автохтонной микрофлоры, типичной для данного типа водоемов. Вторичное загрязнение может возникнуть в водоеме с чистой водой в результате отмирания разнообразных организмов, занесенных в него из загрязненных участков, и их последующего разложения. Вторичное загрязнение особенно усиливается, если в этих организмах аккумулированы различные токсичные вещества (пестициды, детергенты, радиоактивные соединения и др.), переходящие в воду после их гибели.

8.2. Основные источники бактериального загрязнения воды

Основным источником загрязнения водоемов являются сточные воды – бытовые (хозяйственно-фекальные) и промышленные. Сточные воды можно разделить на две большие категории: воды, содержащие нетоксичные органические вещества, и воды, содержащие токсичные органические и минеральные продукты, а также радиоактивные вещества. К сточным водам первой категории до недавнего времени относили бытовые стоки, выпускаемые в водоемы городами и поселками сточные воды боен, предприятий пищевой, кожевенной и целлюлозной промышленности и т.п., богатые растворенными азот- и углеродсодержащими органическими веществами. Они не представляли собой опасности для гидробионтов. В настоящее время бытовые стоки, как правило, содержат и токсичные органические соединения – поверхностно-активные вещества, являющиеся основными компонентами моющих средств. Кроме того, бытовым сточным водам присуще значительное бактериальное загрязнение патогенными микроорганизмами, попадающими в них в основном с фекалиями человека и животных и из других источников. Во вторую категорию сточных вод входят стоки различных отраслей металлургической и химической промышленности весьма разнообразные по химическому составу и оказывающие токсическое действие на живое население водоема, благодаря содержанию в них мышьяка, селена, ртути, свинца и т.п.

Загрязнение водоемов бывает первичным и вторичным. Первичное загрязнение возникает в результате попадания в водоем загрязнений из внешних источников и развития аллохтонной микрофлоры, присущей источникам загрязнения, наряду с развитием собственной автохтонной микрофлоры, типичной для данного типа водоемов. Вторичное загрязнение может возникнуть в водоеме с чистой водой в результате отмирания разнообразных организмов, занесенных в него из загрязненных участков, и их последующего разложения. Вторичное загрязнение особенно усиливается, если в этих организмах аккумулированы различные токсичные вещества (пестициды, детергенты, радиоактивные соединения и др.), переходящие в воду после их гибели.

8.2.1 Влияние сточных вод на режим водоема. Заморы рыбы

Сточные воды, попадая в водоем, существенно влияют на его режим в целом (могут оказывать токсическое действие на гидробионтов, а также в значительной степени менять химический состав воды и особенно газовый режим, когда поступающие в водоем органические вещества интенсивно окисляются содержащимся в воде кислородом,

обуславливая его дефицит; процесс протекает еще интенсивнее, если в сточной жидкости имеются минеральные окисляющиеся вещества). Кроме того в водоеме протекает биологическое окисление, при котором кислород затрачивается на жизнедеятельность микроорганизмов, осуществляющих этот процесс. Количество кислорода, необходимое для полного окисления органических веществ, имеющихся в воде, называют *биохимическим потреблением кислорода (БПК)*. Величина эта выражается в миллиграммах O_2 , потребного для окисления органического вещества, находящегося в 1 л воды, в определенный отрезок времени. Различают суточное БПК₁, трехсуточное БПК₃, пятисуточное БПК₅ и полное БПК. В различных сточных водах БПК различно, особенно велико оно в стоках целлюлозно-бумажной промышленности (22-40 мг/л). С увеличением количества органических веществ в воде возрастает и БПК.

Падение содержания растворенного кислорода приводит вначале к гибели (замору) наиболее требовательных к кислороду животных, например, осетровых рыб, ракообразных, далее замор охватывает все большее и большее количество видов.

Кроме поглощения растворенного в воде кислорода, на газовый режим водоема при попадании в него сточных вод оказывают влияние микробиологические процессы накопления в воде метана, сероводорода, свободной углекислоты и других газов, в результате чего может наступить массовая гибель гидробионтов. Метан сам по себе ядовит для многих обитателей водоема. Кроме того, в воде происходит интенсивное окисление этого газа за счет растворенного в ней кислорода, что приводит к его дефициту.

Во время штилей над слоем ила, в котором преимущественно обитают десульфатирующие бактерии, образуется пленка сероводорода, что приводит к значительным заморам рыбы. При волнении моря, кислород проникает в глубь воды и окисляет сероводород, кроме того, целостность пленки нарушается чисто механическим путем и заморные явления прекращаются.

Сточные воды оказывают также чисто механическое воздействие на населяющие дно растения и животные. Например, в сточных водах целлюлозно-бумажной промышленности содержатся волокна, которые скапливаются на дне, оказывая губительное действие на бентос.

8.2.2 Зоны сапробности водоемов

Степень загрязнения водоема органическими веществами называется сапробностью. Она оценивается по предложенной в 1908 г.

Р. Кольквитцем и М. Марссоном шкале сапробности, согласно которой водоемы или их зоны в зависимости от степени загрязнения органическими веществами подразделяются на *полисапробные* (зоны очень сильного загрязнения), *α-мезосапробные* и *β-мезосапробные* (зоны средней загрязненности), *олигосапробные* (зоны чистой воды).

Водоемы малонаселенных районов Севера, высокогорий и вытекающие из-под земли источники называют *катаробными*. В них совершенно чистая вода, характеризующаяся пересыщением кислородом, полным отсутствием свободной углекислоты и сероводорода, резко окислительными условиями. Число бактерий здесь от 1 до нескольких клеток в 1 мл.

Оценка загрязнения водоемов по степени их сапробности в настоящее время недостаточна, поскольку водоемы бывают загрязнены и токсичными веществами. В связи с этим появились новые критерии оценки загрязнения воды. Так, для оценки степени загрязнения водоема токсичными веществами В. И. Жадиным предложены термины *таксобность* и соответственно поли-, мезо- и олиготаксобные зоны. В. Сладечек предложил следующие термины для характеристики загрязненности вод: катаробные (чистые), лимносапробные (все степени сапробности), эвсапробные (сточные воды) и трапсапробные (воды с токсичными и радиоактивными веществами, с высокой температурой).

8.3. Санитарно-показательные микроорганизмы.

Санитарно-показательные микроорганизмы являются постоянными обитателями поверхностей и полостей человеческого или животного организма. Обнаружение и в объектах внешней среды свидетельствует о загрязнении выделениями человека или животного. Чем обильнее такое загрязнение, тем больше возможность попадания в объект патогенных микробов. Санитарно-показательными микроорганизмами могут быть только те, которые постоянно и в больших количествах содержатся в выделениях человека или животного, они должны сохранять жизнеспособность во внешней среде в течение сроков, близких к срокам выживания патогенных микробов, выделяемых теми же путями, но не размножаться интенсивно во внешней среде. Они должны также легко обнаруживаться современными и довольно простыми методами исследования. Основными санитарно-показательными микроорганизмами в отношении кишечных инфекций, указывающими на фекальное загрязнение внешней среды (вода, почва), считают бактерии группы кишечных палочек (БГКП). В качестве дополнительных показателей при оценке некоторых объектов определяют наличие фекальных стрептококков (энтерококков) и клостридий.

Кишечные палочки как санитарно-показательные микробы наиболее полно соответствуют требованиям, предъявляемым к таким микроорганизмам. Они являются постоянными обитателями кишечника человека и теплокровных животных, в больших количествах выделяются в окружающую среду. Сроки их выживания во внешней среде немного превышают сроки сохранения патогенных представителей кишечных бактерий в тех же условиях или совпадают с ними.

К БГКП относятся не только эшерихии, но и представители родов цитробактер, энтеробактер, клебсиеллы. Для них характерны следующие признаки: короткие, грамотрицательные, неспорообразующие палочки, на среде Эндо они растут в виде темно-красных колоний с металлическим блеском или без него либо в виде розовых колоний с темным центром; сбраживают лактозу и глюкозу при 37°C в течение 24 ч с образованием кислоты и газа, не обладают оксидазной активностью. Отрицательная оксидазная проба позволяет дифференцировать семейство *Enterobacteriaceae* от грамотрицательных бактерий семейства *Pseudomonadaceae* и других водных сапрофитов, обладающих ферментом оксидазой.

Все БГКП попадают во внешнюю среду только из кишечника человека и животных. Наибольшее санитарно-показательное значение в этой группе имеет *E. coli*, присутствие которой, например, в питьевой воде, рассматривается как признак свежего хозяйственно-бытового загрязнения, несомненно, фекального происхождения. Присутствие энтерококков считают дополнительным показателем фекального загрязнения воды и других объектов. Однако их выделение требует сред более сложных при приготовлении и растут они медленнее. Энтерококки являются нормальными обитателями кишечника, но выделяются во внешнюю среду в меньших количествах, чем кишечные палочки. Энтерококки быстрее отмирают в воде и почве. Как правило, они не размножаются в этих объектах, что позволяет рассматривать их как показатель свежего фекального загрязнения.

К санитарно-показательным клостридиям относят группу грамположительных, спорообразующих анаэробных палочек, редуцирующих сульфит на сульфит-неомицинполимиксиновой среде (СПН) при инкубации в условиях 45°C в течение 12-24 ч. Эта группа в основном представлена *Cl. perfringens*, которые встречаются в кишечнике большинства людей в значительно меньших количествах, чем кишечная палочка. Клостридии более, устойчивы, чем не образующие спор БГКП и энтерококки. Определение санитарно-показательных клостридий рекомендуют проводить в почве и воде, используемой на предприятиях пищевой промышленности, а также при выборе новых источников водоснабжения.

Санитарно-показательными микроорганизмами загрязнения воздуха закрытых помещений являются стафилококки (*Staph. aureus*), а также зеленящие и гемолитические стрептококки, постоянно обитающие на слизистой оболочке верхних дыхательных путей

и выделяющиеся в воздушную среду при разговоре, кашле, чиханье. Во внешней среде стрептококки сохраняют жизнеспособность в течение примерно тех же сроков, что и возбудители дифтерии, а стафилококки – даже дольше. Чем большее количество стрептококков обнаруживают в воздушной среде, тем вероятнее возможность заражения человека воздушно-капельными инфекциями. Нарастание обсемененности воздуха *Staph. aureus* и частое его обнаружение свидетельствуют о санитарно-эпидемиологическом неблагополучии. В лечебных учреждениях вторичным источником обсеменения воздуха *Staph. aureus* могут быть загрязненные постельные принадлежности, белье, с которых эти микроорганизмы попадают в воздух, Наиболее полную картину воздушно-капельного загрязнения воздуха дает определение и стрептококков и стафилококков. Однако ввиду того, что стрептококки довольно трудно культивировать, в лабораторной практике ограничиваются выделением *Staph. aureus*.

Вопросы для самоконтроля

1. Микрофлора воды.
2. Основные источники бактериального загрязнения.
3. Санитарно-показательные микроорганизмы

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Основная

1. Мудрецова-Висс, К.А. Микробиология, санитария и гигиена / К. А. Мудрецова-Висс, В. П. Дедюхина. - 4-е изд., испр. и доп.– М. : ИД ФОРУМ : Инфра-М, 2010.–400 с.
2. Санитарная микробиология [Электронный ресурс] / Р. Г. Госманов.–1-е изд. - Электрон. текстовые дан. – СПб.: Лань, 2010. – 240 с.

Дополнительная

1. Вербина, Н.М. Гидромикробиология с основами общей микробиологии. – М. : «Пищевая промышленность», 1980. – 288 с.

Лекция 9

МИКРОФЛОРА ВОДОЕМОВ

9.1. Микрофлора водоёмов

Численность микроорганизмов в природных пресных водах. Количество микроорганизмов в воде зависит от ее происхождения. По происхождению природные воды делят на три основные группы: атмосферные (осадочные); подземные (ключевые и минеральные воды, грунтовые воды верхних слоев, скапливающиеся в колодцах, и воды глубокого залегания – артезианские скважины); поверхностные, или континентальные, которые в свою очередь могут быть естественными (реки, озера, болота) и искусственными (каналы, водохранилища).

А т м о с ф е р н ы е (о с а д о ч н ы е) воды. Атмосферные воды встречаются в природе в виде дождя, снега, града, льда.

Дождевая вода бедна микроорганизмами и обогащается ими, захватывая и увлекая из воздуха мельчайшие частицы пыли. В связи с этим дождевая вода над городской местностью значительно богаче микроорганизмами, чем над сельской.

Снег, как и дождевая вода, практически свободен от бактерий и все же в 1 мл только что выпавшего и растопленного снега даже в самые сильные морозы насчитывается от нескольких десятков до нескольких сотен бактерий.

Микрофлора града различна. Так, например, в первых порциях града, выпавшего в Ленинграде, бактерий было больше (3700 клеток в 1 мл), чем в последних (55 клеток в 1 мл). В одних случаях в 1 мл растопленного града содержалось 21 000 клеток, в других – 1400. Микроорганизмы обнаруживаются как внутри градин, так и на их поверхности.

Количество микроорганизмов во льду зависит от качества воды, из которой он образовался. Так, в 1 мл растопленного льда естественных водоемов, особенно в черте города, содержатся десятки тысяч микроорганизмов, а во льду, приготовленном из дистиллированной воды, – лишь единицы. Лед Полярного бассейна почти лишен микроорганизмов.

П о д з е м н ы е воды. На той или иной глубине под поверхностью Земли всегда располагается один или несколько водоносных горизонтов. Принято различать ключевые, минеральные, грунтовые и артезианские подземные воды.

Ключами, источниками или родниками называют естественные выходы подземных вод на поверхность Земли. Холодные источники образуются преимущественно водами атмосферного происхождения, которые они получают из водоносных слоев различного залегания.

Горячие источники обусловлены выходом воды глубинного происхождения, поднявшейся из недр земли по трещинам. Проходя через породы различного состава, воды этой группы обогащаются растворенными веществами и газами и тем самым становятся минеральными водами, о чем будет сказано позже.

Ключевые воды весьма бедны микрофлорой, что объясняется адсорбцией микроорганизмов на частицах почвы при прохождении воды через грунт. В них содержатся единицы сапрофитных бактерий в 1 мл, хотя общее число микроорганизмов в них значительно выше. Среднее число гетеротрофных сапрофитов в ключевых источниках в Словакии – 24 в 1 мл, а общее количество микроорганизмов в 1 мл в среднем – 16 800 (при прямом счете). Смешиваясь с грязными потоками воды во время дождя, ключевые источники могут содержать до нескольких тысяч бактерий в 1 мл. *Минеральные* воды приурочены к тектоническим трещинам. Их минеральный состав формируется в процессе выветривания горных пород, в котором микроорганизмы играют значительную роль. В зоне выветривания обнаруживаются нитрифицирующие бактерии, с которыми связано появление в водах азотистой и азотной кислот.

У выходов сероводородных минеральных вод обычно наблюдаются серовато-белые налеты, постепенно исчезающие по мере удаления от источника. Они представляют собой отложения окисленной серы и скопления серобактерий (бесцветных, пурпурных и зеленых), осуществляющих окисление сероводорода до серной кислоты, тионовых бактерий, окисляющих тиосоединения, тетратионаты и сероводород. Серобактерии были обнаружены в источниках Кавказских минеральных вод, а тиобактерии – в горячих минеральных водах Камчатки.

Тионовые бактерии образуют большое количество серной кислоты и рН среды может снижаться до 1,5-0,6, что иногда наблюдается при хранении минеральной воды в бутылках и сопровождается изменениями ее химического состава.

В процессе образования минеральных вод значительную роль играет окисление железа. У выходов железистых вод всегда можно наблюдать слизистые скопления железобактерий цвета охры. Известны бактерии, которые окисляют сернистый цинк, пирит, марказит, сернистый кадмий, сернистый мышьяк. Обнаружены бактерии, разлагающие силикаты.

Бактерии и водоросли принимают большое участие в образовании травертина – отложений карбоната кальция, которые наблюдаются у выходов многих минеральных вод, особенно углекислых.

Среди анаэробных биохимических процессов преобладает десульфатация, сопровождающаяся выделением сероводорода. Она протекает как на больших глубинах, так и в поверхностных отложениях (торфяники, иловые отложения с органическими остатками и др.), т. е. всюду, где имеются сульфаты, органические вещества и анаэробные условия. Десульфатация на глубинах идет с использованием микроорганизмами в качестве источника углерода для энергетических и строительных целей битума, нефти и др., а также органического вещества горных пород – древних морских иловых отложений. В этом случае вода имеет нейтральную реакцию (рН 7-7,5), в которой около 60% всего сероводорода находится в свободном состоянии.

Микроорганизмы встречаются и в горячих источниках, например в горячих водах Камчатки обнаружены термофильные формы, развивающиеся при 98-100° С.

В составе газов термальных минеральных вод имеются метан и водород, образующиеся при анаэробном разложении целлюлозы термофильными целлюлозоразлагающими бактериями.

Грунтовыми называются воды, залегающие над первым от поверхности Земли водонепроницаемым горизонтом (в первом водопроницаемом горизонте). Вода мелких колодцев обычно содержит значительное количество микроорганизмов, попадающих туда благодаря просачиванию поверхностных вод во время таяния снегов, а также вместе с воздухом, пылью, дождем.

Значительно больше загрязнены бактериями подземные воды неглубокого залегания в пределах более крупных населенных пунктов. Так, в колодцах в г. Пензе количество микроорганизмов колебалось от 426 до 3460 в 1 мл, а в Кзыл-Орде достигало огромной величины (более 20 000 в 1 мл). В Словакии было обследовано пять колодцев Житного острова. Число микроорганизмов составляло 9200 в 1 мл. Число колоний гетеротрофных психрофильных бактерий в среднем было 550 в 1 мл, мезофильных – 40 в 1 мл.

Артезианские воды в отличие от грунтовых залегают между двумя водонепроницаемыми горизонтами. Артезианские скважины, питаемые водами глубокого залегания, являются наиболее чистыми. В них число микроорганизмов обычно не превышает десятка в 1 мл, но и они попадают в воду при прохождении ее через трубы, сама же артезианская вода свободна от бактерий.

Прямой счет микроорганизмов в воде артезианских скважин дает более высокие результаты. Например, в артезианской скважине Киевского водопровода А. Г. Родиной было обнаружено 12320 микроорганизмов в 1 мл. В некоторых случаях при наличии подземных связей с поверхностными водами и глубокие артезианские воды могут

содержать бактерии, развивающиеся на органических средах и даже болезнетворные микроорганизмы.

Поверхностные воды (континентальные водоемы). Континентальные водоемы расположены в углублениях суши. Они бывают естественными и искусственными. Реки, озера, болота – естественные водоемы. В реках вода проточная. Она содержит больше бактерий, водорослей, зоопланктона и зообентоса, а также речного гумуса и минеральных взвешенных веществ, чем морская. Количество питательных веществ является главным фактором, способствующим развитию микроорганизмов. Чем богаче вода органическими веществами, тем обильнее ее микрофлора как в количественном отношении, так и по числу и разнообразию физиологических групп микроорганизмов! Воды рек по течению выше городов всегда беднее бактериями, чем в самом городе и ниже его, где реки вбирают массу стоков. Там, где вода реки разбавляется чистыми притоками и частично самоочищается, содержание бактерий значительно меньше.

Если река питается ледниковыми, болотными или родниковыми водами, то в своем истоке она практически лишена фито- и зоопланктона и в толще воды обитает лишь бактериопланктон.

Численность бактерий в равнинных участках рек обычно колеблется от нескольких сотен тысяч до нескольких миллионов в 1 мл. В Волге близ Куйбышева их содержится в 1 мл 13 млн., в Москве-реке – 0,4-1,3 млн., в Кубани – 1,5-5,8 млн., в Пруте – 2-4,5 млн., в Урале и Неве – 0,2-0,6 млн. Численность бактерий в речной воде претерпевает значительные сезонные колебания, обнаруживая максимум во время пика паводка.

Озера представляют собой водоемы со стоячей водой. Это различной величины и формы котловины, заполненные водой, которые своим происхождением могут быть обязаны вулканической, тектонической, ледниковой деятельности, обвалам горных пород. Озера бывают сточными или бессточными в зависимости от того, берут от них начало реки или нет. По степени минерализации воды озера подразделяются на пресные, солоноватые и соленые.

Озера принято делить на евтрофные, олиготрофные, мезотрофные и дистрофные, характеризующиеся различной интенсивностью жизненных процессов в водоеме, зависящей в основном от поступления в водную массу биогенных элементов.

Евтрофные (высококормные) озера – неглубокие (10-15 м) озера с обильным поступлением в них биогенных элементов. Богаты фитопланктоном. Грунты илистые. Содержится много органического вещества. Отмечается массовое развитие водных организмов. В придонном слое мало кислорода, зимой иногда наблюдаются заморы рыб.

Мезотрофные (среднекормные озера) имеют глубину до 25 м. Вода в них чистая, фитопланктон развивается в умеренном количестве, заморы рыбы не наблюдаются.

Олиготрофные (малокормные) озера обладают значительной глубиной (свыше 30 м). Донные отложения бедны органическими веществами, вода богата кислородом, но бедна биогенными веществами, поэтому фито- и зоопланктон плохо развивается.

Дистрофные (недостаточно кормные) озера – неглубокие водоемы, часто заболоченные, с большим содержанием труднодоступных гуминовых веществ, с торфянистыми отложениями на дне. Последние исключают контакт воды с грунтом, поэтому она слабо минерализована и бедна биогенами. Планктон и бентос дистрофных озер очень бедны, часто они лишены рыб.

Существует заметная разница в солевом составе, температуре, прозрачности воды, условиях аэрации различных озер, что обуславливает значительные колебания в численности бактерий.

В олиготрофных озерах общее содержание бактерий в среднем 150 тыс. в 1 мл, в мезотрофных – 500 тыс.-1,5 млн., в евтрофных 2-4 млн., а в евтрофных рыбоводных прудах и южных водохранилищах превышает 10 млн. в 1 мл.

Болота представляют собой неглубокие, частично или полностью закрытые сверху растительностью скопления воды, в которых образуется торф (переходное состояние между водой и сушей, так как границу между заболоченными водами и заболоченной сушей провести невозможно). Болота могут быть низинными, если они питаются грунтовыми водами, и верховыми, питающимися за счет атмосферных осадков. Нередко болота появляются в результате заболачивания озер. Население болот чрезвычайно бедно, что объясняется высокой кислотностью воды, ее крайне слабой минерализацией из-за отсутствия контакта с грунтом, который обычно покрыт растительностью. Болотная вода насыщена метаном. Здесь развивается специфическая микрофлора.

Метан, или болотный газ, образуется метанообразующими бактериями, главным образом в результате сбраживания уксусной кислоты – одного из продуктов разложения микроорганизмами целлюлозы отмерших растительных организмов в грунтах и придонном слое воды многих болот, озер, прудов, реже морей. В больших количествах (до 80-90%) метан содержится в пузырьках газа, поднимающихся со дна многих стоячих водоемов. Метан, как и сероводород, ядовит для большинства организмов.

Водоемы бывают искусственными, сооружаемыми человеком. Наибольшее значение среди них приобрели водохранилища, пруды, судоходные и оросительные каналы.

Водохранилища имеют обычно многоцелевое назначение (например, для регуляции стока рек, водоснабжения, гидроэнергетики, рыбного хозяйства, а также для рекреационных целей). Характерная особенность водохранилищ – частые и значительные колебания уровня, вследствие чего прибрежная зона летом высыхает, а зимой – промерзает, что приводит к гибели многих обитателей этой зоны. Планктон сформировавшихся водохранилищ содержит бактерии в несколько большем количестве, чем планктон рек. Так, в Куйбышевском водохранилище в 1 мл воды содержится 1—2 млн. бактерий, в Волгоградском – от 0,17 до 3,3, в Рыбинском – 0,6-1,2 млн. Примерно такова же их численность в других больших водохранилищах. Количество микроорганизмов в иле водохранилищ колеблется от 0,5 до 2,5 млрд. клеток в 1 г сырой массы.

Пруды – искусственные водоемы, сооружаемые для рыборазведения, водоснабжения населенных пунктов, полива полей, водопоя скота и других целей. Они могут быть плотинными, образующимися в результате запруживания речек и оврагов; копаными, питающимися атмосферными осадками, а также грунтовыми водами; наливными, наполняемыми водой через специальные каналы из рек и ручьев. Все типы прудов – это мелкие водоемы с небольшой площадью водного зеркала, часто спускаемые на зиму.

Число бактерий в прудах может достигать нескольких миллионов в 1 мл, как это, например, наблюдается в случае внесения органических удобрений для повышения рыбопродуктивности прудов.

Факторы, влияющие на распределение микроорганизмов в пресных водоемах. Основными особенностями водоема являются наличие органического вещества, его природа, степень аэрации, температурный режим, соленость, рН, солевой состав, прозрачность воды, от которой зависит глубина проникновения солнечного света. Эти факторы в водоеме тесно взаимосвязаны.

Количество и форма органического вещества в водоеме. Главным фактором, определяющим массовость развития микроорганизмов в воде, является наличие в ней питательных веществ. Чем больше вода загрязнена органическими остатками, тем больше в ней микроорганизмов. Однако в естественных водоемах развитие бактерий определяется в основном содержанием в воде лишь легкоусвояемых форм органического вещества. Все органическое вещество в водоеме принято делить на взвешенное органическое вещество (живой фито-, зоо- и бактериопланктон; отмерший планктон, а также попавшие в водоем с ветром или притоками растительные и животные остатки; детрит), растворенное органическое вещество (водный гумус; нестойкое органическое вещество – более легко усвояемые бактериями промежуточные продукты распада

органических веществ аминокислоты, жирные кислоты, спирты, угле-воды, белки) и органическое вещество иловых отложений (живой фито-, зоо- и бактериобентос; легко разрушаемые составные вещества отмерших организмов – углеводы, белки, жиры, жирные кислоты; озерный, речной или морской гумус).

Именно количество нестойкого, легко усвояемого микроорганизмами растворенного органического вещества определяет содержание микроорганизмов в воде. Оно может поступать в водоем не только извне, но и образовываться в самом водоеме при разрушении (деструкции) и минерализации отмерших гидробионтов под действием гетеротрофных микроорганизмов. Растворенное легко усвояемое органическое вещество распределено по всей толще воды неравномерно, что обуславливает неодинаковое распределение микроорганизмов по вертикали в водоеме – от поверхности к дну.

Содержание кислорода. Распределение и качественный состав микрофлоры в водоеме зависит от количества растворенного в воде кислорода, определяемого типом водоема, наличием в нем органического вещества, величиной рН и гН_2 воды, температурой. Скорость потребления кислорода микроорганизмами в водоемах пропорциональна количеству органических веществ в воде, поэтому в загрязненных водоемах может возникнуть дефицит кислорода, несмотря на фотосинтез, обогащающий воду кислородом. Отсутствие фотосинтеза на глубине приводит также к острому дефициту кислорода. Обеспеченность кислородом водоема снижается в результате жизнедеятельности гидробионтов в целом, сопровождающейся их дыханием, и поглощения кислорода донными отложениями.

В связи с этим в условиях естественного водоема невозможно установить прямую связь между количеством растворенного кислорода в воде и интенсивностью развития микроорганизмов, но определенная закономерность имеется. Так, многие окисляющие целлюлозу аэробные микроорганизмы в отсутствие кислорода не развиваются, тионовые бактерии – факультативные анаэробы – предпочитают пониженное парциальное давление кислорода; метанобразующие бактерии – строгие анаэробы – развиваются лишь в отсутствие кислорода.

Температура. Повышение температуры стимулирует развитие фитопланктона и его фотосинтетическую деятельность, что ведет к обогащению водоема органическим веществом и косвенно к увеличению числа бактерий. При этом непосредственное влияние температуры может сказываться значительно слабее, чем обогащение водоема органическим веществом. По наблюдениям СИ. Кузнецова, максимальное количество бактерий в ряде озер и в воде Рыбинского водохранилища часто наблюдалось в ноябре при температуре около 9°C , когда шло массовое отмирание фитопланктона, хотя температура была значительно ниже величин, оптимальных для развития многих бактерий.

Сезонные колебания численности микроорганизмов в воде. Содержание микроорганизмов в водоемах изменяется в зависимости от времени года. Зимой число их бывает наименьшим благодаря наличию ледяного покрова, защищающего водоемы от поверхностных загрязнений, окончанию навигации и купального сезона, в течение лета сильно возрастает. Максимальное количество микроорганизмов приходится на май – июнь, несмотря на то что содержание пита-рельных веществ в эти месяцы не является максимальным. Очевидно, это связано с изменениями температуры воды, о чем говорилось выше.

Освещенность. Прямой пропорциональной зависимости между интенсивностью света, падающего на поверхность водоема, и глубиной его проникновения в воду не наблюдается. Основная масса света поглощается поверхностным слоем толщиной около 1 м, но количество поглощенного света сильно варьирует (от 1 до 30%) в зависимости от типа водоема, солевого состава воды, ее мутности, цветности, прозрачности и т. п. В некоторых рах свет полностью поглощается уже на глубине 3 м. Полная темнота в морской воде наблюдается на более значительных глубинах, чем в пресной. Так, в

Атлантическом океане вблизи Азорских островов при помощи фотометра было обнаружено проникновение света на глубину, 1000 1500 м.

Многие исследователи пытались объяснить неравносность вертикального распределения бактерий всолнечного света (снижение численности бактерий в поверхностных слоях воды летом и их количества в воде некоторых озер зимой). Однако в озере Уиндермер (Англия) число бактерий на поверхности воды и на глубине 1 м было одинаково, а на глубине 10 м даже меньше, чем на поверхности. Известно, что бактерицидным эффектом обладает лишь ультрафиолетовая часть спектра с длиной волны 210-296 нм. Именно эти лучи сильнее всего поглощаются поверхностным слоем воды толщиной примерно 10 см, поэтому их бактерицидное действие в воде невелико.

Свет способствует развитию лишь небольшой группы фотосинтезирующих бактерий. Все остальные бактерии развиваться в темноте.

Горизонтальное и вертикальное распределение микробного населения в пресных водоемах. В распространении микроорганизмов в водоемах существуют закономерности, определяемые типом водоема и условиями окружающей среды. Так, в водоемах со стоячей водой (пруды, озера) количество бактерий в прибрежной зоне, непосредственно соприкасающейся с почвой, всегда больше, чем в середине озера или местах, удаленных от берега. Так, в одном из озер в 150 м от берега в 1 мл воды содержалось 1012, а в 3000 м от берега – только 79 бактерий.

Количество бактерий в воде резко возрастает в дождливую погоду и уменьшается в солнечную. Если до дождя в 1 мл воды было 8 бактерий, то после дождя их количество возросло до 1223. Если на расстоянии 1000 м от берега в солнечную погоду в 1 мл воды было 10-28 бактерий, то в пасмурную оно увеличивалось до 217-1229.

Значительные колебания числа бактерий наблюдаются и от поверхности водоема к дну. Наибольшее число их приходится на слой, расположенный на глубине 5-20 м (в 1 мл воды у поверхности содержалось 73 бактерии, а на глубине 10 м-197 бактерий). Но такое соотношение численности бактерий не является общей закономерностью. Количество микроорганизмов в пене на поверхности водоема в сотни и тысячи раз превышает содержание их в толще воды.

Численность бактерий по вертикали зависит от типа водоема, не подчиняется определенным закономерностям и незначительно колеблется, поскольку вода легко поддается перемещениям под влиянием течения, ветров, конвекционных токов. Так, в оз. Маузлы (Банное озеро) число микроорганизмов в 1 мл воды на глубине 3 м 221000, на глубине 21 м всего лишь вдвое меньше. В других случаях у поверхности и у дна наблюдалось практически одинаковое количество микроорганизмов. Наиболее выражено вертикальное распределение бактерий в летний период в водоемах с достаточно четко выраженными слоями температурного скачка и глубинными водными массами. В олиготрофных глубоких озерах, например в оз. Байкал, наибольшее количество бактерий обнаруживается в поверхностном слое, в глубинных слоях воды оно резко падает, а в другом олиготрофном озере – Дальнем (Камчатка) максимальное количество бактерий было обнаружено в слое температурного скачка на глубине 10 м от поверхности.

В мезотрофных и евтрофных озерах, редко имеющих большую глубину, распределение микроорганизмов по вертикали бывает более или менее равномерным, хотя и выражается значительно большими величинами, чем в олиготрофных озерах. Так, в оз. Глубоком в период массового отмирания планктона наблюдалось значительное увеличение количества бактерий в слое температурного скачка или в придонных слоях воды, т. е. имеется связь и с временем года.

Количество бактерий в водохранилищах так же, как и в озерах, сильно зависит от типа вод, поступающих в водохранилище. Наименьшая численность микроорганизмов наблюдалась в водах Свирского и Иркутского водохранилищ, питающихся чистыми водами соответственно Онежского озера и Байкала. Наибольшее количество бактерий (до

10-12 млн. клеток в 1 мл) обнаружены в чистых и мутных водах водохранилищ Сыроязьинского на р. Мургаб и Чирюртского на р. Сулак.

В толще воды содержатся сильно разбавленные питательные вещества и много растворенного кислорода, развиваются в основном олигокарбофильные микроорганизмы, а также нитрофицирующие.

В глубинных и природных слоях воды обычно наблюдается содержание бактерий независимо от распределения их в толще воды. Здесь не существует прямой зависимости между количеством бактерий и питательных веществ, поскольку запасы пищи превышают потребности в ней развивающейся микровидовой состав микрофлоры пресных водоемов.

Микрофлора толщи воды. Наиболее типичными и нетипичными водными микроорганизмами являются олигокарбофилы флуоресцирующие, пигментные и лишённые формы (*Pseudomonas fluorescens liquefaciens*, *Ps. fluorescens nonliquefaciens*, *Micrococcus aquatilis*, *Micr. candidans*, *Micr. albus*, *Micr. roseus*, *Bacterium violaceum*, *Spirillum rubrum*, некоторые сарцины – *Sarcina lutea*, представители родов *Cladotrix* и *Sphaerotilus*). Анаэробных видов в чистой воде, как правило, нет. Встречаются и типичные водные грибы из родов *Mucor* и *Fusarium* (*F. aquaeductum*), а также актиномицеты. Кроме них, как в олиготрофных, так и в евтрофных водоемах встречаются микобактерии (*Mycobacterium glo-biforme*, *Mycobact. luteum*, *Mycobact. phlei*, а также *Bacterium nitrificans*, *B. act. album*, *Bact. brevis*, *Bacillus mycoides*, *Micrococcus scinebareus*, *Micr. radiatus*, *Micr. viticulosus*).

Количественное соотношение беспоровых и спорозоных форм сапрофитных бактерий определяется степенью трофии водоема. Наибольшее число беспоровых форм встречается в евтрофных озерах, как по абсолютному количеству, так и по отношению к споровым формам, составляющим не более 10%. В мезотрофных озерах, где первичная продукция меньше и интенсивность круговорота органического вещества ниже, чем в евтрофных, количество беспоровых форм падает и вследствие этого относительно возрастает число спорозоных. В водоемах дистрофного типа с повышенным содержанием в воде трудноусвояемой части растворенного органического вещества количество споровых форм в большинстве случаев возрастает до 85% от общего числа сапрофитов.

Микрофлора иловых отложений. Огромное количество микроорганизмов обитает в иле, представляющем собой отмершие остатки гидробионтов, не разложившиеся в водной толще, и минеральные частицы различного происхождения (углекислый кальций, глинистые частички), постоянно оседающие на дно. Здесь создается зона, богатая органическим веществом и благоприятная для развития различных физиологических групп микроорганизмов.

В самом поверхностном слое ила, соприкасающемся с водной массой, число бактерий выражается сотнями тысяч и миллионами клеток на 1 см². Здесь образуется как бы пленка из бактерий, выполняющая важную роль в круговороте веществ в водоеме.

Речной ил во много раз богаче бактериями, чем речная вода. По определениям П. Д. Иерусалимского, в 1 г сухого ила, взятого в месте замедленного течения реки, содержится 2250 млн., а взятого в месте быстрого течения реки – 470 млн. бактерий. Ил старицы с обильной содержит в 1 г 2830 млн. бактерий. Даже в сыром иле озер число бактерий составляет сотни миллионов в 1 г.

В поверхностном слое ила особенно большую роль играют серо- и железобактерии. Серобактерии окисляют образующиеся в иле сероводород в соли серной кислоты, что предотвращает его диффузию в водоем, и следовательно заморы рыбы. Разрушение бактериальной пленки при сильных волнениях приводит к массовому отравлению рыб сероводородом. Здесь обитают также бактерии, окисляющие метан, водород. Встречаются представители *Caulobacter* и новые формы бактерий – *Seliberia*,

простековые, а также хищные формы. В иле преобладают спорообразующие бактерии (около 75%). Чем глубже залегает ил, тем больше в нем спороносных форм.

На глубине 2-5 см от поверхности ила создаются микроаэрофильные условия, на глубине до 10 см – анаэробные, которые благоприятствуют жизнедеятельности преимущественно анаэробных гетеротрофных бактерий, получающих энергию для своих нужд в процессах брожения. Особенно распространены здесь бактерии, сбраживающие целлюлозу, пектиновые вещества, метанобразующие, а также гнилостные и другие группы анаэробных бактерий, в частности, анаэробные фиксаторы атмосферного азота. Встречаются флексибактерии, которые имеют гидролитические ферменты, расщепляющие пектин, целлюлозу, хитин, крахмал.

В глубь ила диффундируют окисленные вещества, а из его толщи к поверхности ила – восстановленные соединения, образующиеся в толще ила в анаэробных условиях. В более глубоких слоях ила микробная жизнь постепенно замирает, наблюдается заметное снижение численности бактерий, что приводит к затуханию биологических процессов. В связи с этим и минерализация органического вещества в иле водоемов идет наиболее интенсивно на его поверхности и постепенно затухает в олиготрофных озерах на глубине около 20 см, а в евтрофных на глубине 60-100 см.

9.2. Микрофлора вод мирового океана

Мировой океан образован собственно океаном и его периферическими, вдающимися в сушу частями – морями. Воды Мирового океана являются специфической средой обитания микроорганизмов. Это связано с характерным солевым составом воды, низкими температурами, высоким давлением, малыми концентрациями органических веществ и т. п.

В открытых районах Мирового океана общая численность микробного населения в океанической толще колеблется от нескольких тысяч до сотен тысяч в 1 мл, а на больших глубинах снижается до сотен и десятков в 1 мл. По данным, по лученным методом капиллярной микроскопии Перфильева и Габе в модификации Мицкевич, число обнаруженных микроорганизмов колеблется от сотен тысяч до миллионов в 1 мл воды, т. е. очень низкое по сравнению с численностью микроорганизмов на суше и в воде пресных водоемов.

Такая разреженность морских микроорганизмов обуславливается спецификой среды обитания. Плотность бактериального населения находится в прямой зависимости от солености воды, температуры, гидростатического давления и других факторов, но основным экологическим фактором является количество органического вещества в воде, интенсивность его распада и степень высвобождения биогенных элементов.

В состав органического вещества морской воды входят азотсодержащие соединения, углеводы, органические кислоты, липиды, витамины, особенно кобаламин (В₁₂), ростовые гормоны типа ауксина и другие биологически активные вещества, относящиеся к нестойким формам органического вещества морской воды. Накапливаются они в воде по мере разложения отмерших растительных, Животных и бактериальных организмов.

Органическое вещество, находящееся на первых стадиях разложения, распределено в толще воды неравномерно, что определяет очаговый характер, микрозональный в распределении гетеротрофных микроорганизмов в воде как по горизонтали, так и по вертикали. Количество микроорганизмов в морях, как и в озерах, постепенно уменьшается по мере удаления от берегов и с глубиной. В прибрежной зоне численность бактерий больше, чем в открытом море. В Черном море на расстоянии 3,7 18,5 км от берега в поверхностном горизонте воды (10 25 м) содержится 6-9 тыс., а на расстоянии 55,5 или 111 км – соответственно 4 и 2 тыс. гетеротрофных бактерий в 1 мл. Количество органического вещества внутренних и мелководных морях значительно выше, чем в океанской воде. В 1 мл воды неглубоких морей и содержится примерно 250 тыс. бактерий. Суммарное количество микроорганизмов в поверхностном горизонте океанов обычно колеблется от 10 до 100 тыс. в 1 мл, биомасса которых составляет от 2 до 50 мг/м³.

На вертикальное распределение бактерий в водах Мирового океана оказывают влияние теплые течения, конвергенция (схождение) водных масс, солнечная радиация, содержание органического вещества и многое другое. Бактерии встречаются на всех глубинах от поверхности до дна, но с глубиной их количество уменьшается. Например, в Тихом океане на глубине 250 и 500 м численность бактерий соответственно в 10 и 100 раз ниже, чем у поверхности. В Черном море Б. Л. Исаченко были обнаружены бактерии на глубине более 2000 м, а в Карском море на глубине 200-500 м при температуре воды минус 1,5° С. Нитрифицирующие, денитрифицирующие, десульфатирующие бактерии и усваивающие атмосферный азот встречались на глубине 100 м при общей глубине моря 180 м.

Средняя численность и биомасса микробного населения различны на одних и тех же глубинах водоемов разного типа. Наибольшая плотность микроорганизмов наблюдается в слое активного фотосинтеза (0-50 м) в Южном и Среднем Каспии, Черном море и в северо-западной части Тихого океана. В этом слое воды сосредоточена растительная жизнь морского водоема и содержание микроорганизмов колеблется в пределах величин одного порядка (от 125 до 225 тыс. клеток в 1 мл, а биомасса от 25 до 45 мг/м³). В Центральной Арктике даже в разгар арктического лета число и биомасса микроорганизмов на один порядок меньше, чем в других обследованных водоемах.

В нижележащих слоях воды (50-100, 100-200 м) концентрация микробных клеток уменьшается уже до десятков тысяч в 1 мл, а биомасса – до нескольких миллиграммов в 1 м³, не превышая 10 мг/м³. В Северном Ледовитом океане плотность микробного населения с глубиной уменьшается медленнее, чем в морях и океанах нормального типа, но и в этих слоях она на порядок ниже. Исключение составляет Черное море, в котором на этих глубинах начинает проявляться аномалия в вертикальном распределении микроорганизмов: содержание и особенно биомасса микробных клеток начинают возрастать. Это объясняется близостью сероводородной зоны, о чем будет сказано дальше.

Различия в содержании микроорганизмов с глубиной в воде у Северного полюса, внутриконтинентальных (Каспийское море) или примыкающих к суше водоемов (северо-западная часть Тихого океана) постепенно стираются.

На самых больших глубинах северо-западной части Тихого океана, приближающихся к максимальным глубинам Мирового океана, содержание микроорганизмов составляет лишь десятки клеток в 1 мл, а биомасса – сотые и тысячные доли миллиграмма в 1 м³ воды.

Такая закономерность в вертикальном распределении численности и биомассы микроорганизмов в морских бассейнах нормального типа определяется количеством органического вещества и морской воде и его характером

Органическое вещество, уже подвергшееся ряду Превращений (нестойкие формы органического вещества легко доступно многим гетеротрофным морским микроорганизмам. Наибольшая концентрация этих форм органического вещества встречается в зоне активного фотосинтеза (на глубинах 0-50 м), где имеются в значительных количествах продукты обмена и распада растительного, животного и бактериального планктона.

Этим объясняется высокая плотность гетеротрофных организмов в поверхностных слоях морской воды особенно в прибрежной части.

К стойким формам органического вещества относится морской гумус, с трудом разлагающийся микроорганизмами. Он составляет основную массу органического вещества глубже зоны активного фотосинтеза (0-50 м), обуславливает заметное уменьшение численности и биомассы микроорганизмов в нормальных водоемах с глубиной 50-75 м и до дна.

Наибольшая плотность микроорганизмов отмечается экваториально-тропическом поясе Мирового океана. Это объясняется распределением и состоянием органического вещества. В данной области происходит обогащение воды аллохтонным органическим веществом в доступной форме, попадающим с огромного числа островов, находящихся на

границе Индийского и Тихого океанов, богатых флорой и фауной, а также со стоком крупнейших рек, собирающих воды с огромных территорий экваториальной Америки, Африки и Азии.

По мере удаления от устья рек наблюдается уменьшение количества растворенного органического вещества и соответственно снижение численности микроорганизмов. Так, на глубине 5 м на расстоянии около 70 м от устья Дуная количество микроорганизмов уменьшается в два раза, а по мере удаления на 120-150 м – почти в четыре раза по сравнению с численностью микроорганизмов вблизи берега.

Воды некоторых морей содержат значительное количество сероводорода. Так, в Черном море, на всем его протяжении, начиная с глубины 200 м, имеется сероводородная зона, в которой количество сероводорода возрастает с глубиной: на глубине 2500 м обнаруживается до 6.5 мг H_2S в 1 л воды.

В сероводородной зоне Черного моря отмечается парадоксальное явление – резкое увеличение биомассы бактерий в 1 м³ воды по сравнению с нижними слоями кислородной зоны. Так, в 1 м³ воды сероводородной зоны (глубина от 200 до 2000 м) биомасса микроорганизмов в полтора – два раза больше, чем в таком же объеме воды кислородной зоны (слой воды от 0 до 200 м). Чем же это объясняется?

Сероводород в воде образуется исключительно за счет жизнедеятельности микроорганизмов в результате двух процессов – аммонификации (разложения) белковых веществ, осуществляемой анаэробными гнилостными микроорганизмами, и десульфатации – восстановления солей серной, сернистой и серноватистой кислот с образованием сероводорода в присутствии органических веществ, осуществляемой гетеротрофными десульфатирующими бактериями. Оба процесса протекают одинаково активно. Развитию десульфатирующих бактерий способствует наличие впадин в водоеме, где ослаблена вертикальная циркуляция воды, благодаря чему там низкое содержание кислорода, много сульфатов и обилие органического вещества. Именно такие условия имеются в сероводородной зоне Черного моря. Вследствие анаэробных условий там не происходит окисления сероводорода серобактериями.

Значительная часть отмерших живых существ в кислородной зоне Черного моря не подвергается полному разложению; в более глубоких слоях воды микроорганизмы также не успевают минерализовать все мертвое органическое вещество до того, как оно достигнет дна. Это приводит к тому, что вся толща воды сероводородной области насыщена органическим веществом в различной стадии разложения, которое оседает на дно Черного моря («дождь трупов»). Именно на дне Черного моря, а не в толще воды, идут процессы с накоплением сероводорода – десульфатация и аммонификация.

Активным продуцентом сероводорода в иле Черного моря на глубинах свыше 2000 м является *Microspira aestuarii* (*Spirillum aestuarii*), образующий до 925 мг H_2S /л, а также *Spirillum desulfuricans* (до 246 мг H_2S /л).

Морские илы более густо населены микроорганизмами, чем морская вода. Наличие значительного количества различных микроорганизмов в илах водоемов обуславливает разнообразие биохимических процессов, идущих на Границе ил - придонный слой воды. Например, в поверхностном слое ила Тихого океана были обнаружены представители следующих физиологических групп микроорганизмов.

В иловых отложениях Азовского моря количество бактерий выражалось цифрами от 23 до 776 млн. на 1 г сырого ила, Черного моря – от 199,5 до 274 млн./1 г; Карского моря – от нескольких десятков миллионов до миллиардов, в мангровом иле в районе Багамских островов 16940 млн./1 г.

Огромное количество органического вещества в поверхностном слое ила сероводородной области Черного моря и способствует активному протеканию различных микробиологических процессов, приводящих к его полной минерализации.

Видовой состав микроорганизмов Мирового океана и морской воде микроорганизмов несравненно меньше, в пресной, но даже микрофлора арктических морей представлена

достаточно большим числом видов. В водах Мирового океана были обнаружены бактерии, относящиеся к различным родам – кокки (роды *Micrococcus* и *Sarcina*), споровые и неспороносные, подвижные и неподвижные палочки (роды *Pseudomonas*, *Achromobacter*, *Flavobacterium*, *Bacillus*), микобактерии, миксобактерии (род *Cytophaga*), коринебактерии (род *Corinebacterium*), вибрионы (род *Vibrio*), а также дрожжи, актиномицеты и некоторые грибы.

Большинство микроорганизмов, обнаруженных в Мировом океане, являются разновидностями пресноводных форм, попавших в него с речным стоком и приспособившихся к этой специфической среде обитания. Так, актиномицеты, широко распространенные в почвах и обнаруженные в морях (описано около 15 видов актиномицетом и проактиномицетов, выделенных, главным образом, в прибрежных районах морей и океанов и только три вида были выделены с глубин 500-1750 м), не принадлежат к числу истинно морских обитателей, То же самое относится и к микобактериям.

Другие физиологические группы микроорганизмов тоже зачастую являются разновидностями отдельных видов, обитающих в почве, в пресных водоемах, приспособившимися к условиям жизни в морской воде и морских иловых отложениях. В морской воде развиваются преимущественно виды, адаптировавшиеся к высокой концентрации солей – галофилы и галообы. Они способны размножаться при концентрации соли в среде от 2 до 30%.

Отличительной чертой морских микроорганизмов является их приспособленность к жизни при низких температурах (психрофильность), они хорошо растут при 0°C, а оптимальной температурой для них является 20° С. Морские микроорганизмы, особенно глубоководные, приспособились и к высокому барометрическому давлению. Некоторые из них выдерживают давление до 50 МПа (барофильные и баротолерантные формы). Эти виды обнаруживаются не только в иле на дне морей и океанов, но и в поверхностном слое грунта.

Наиболее надежным доказательством принадлежности какого-либо микроорганизма именно к морским формам, по мнению А.Е. Криоса, служит способность к размножению в море. Эта форма может быть признана морской, если она находится в пробе воды не единственном числе и при высеве на плотные питательные среды вырастет несколько колоний одного вида.

Глубинные течения увлекают эти воды к берегам Антарктиды и Арктики, благодаря чему *Bacteriummagile* обнаруживается и там.

На втором месте по распространенности в Атлантическом и Тихом океанах стоит вид *Bacteriumcandicans*, наиболее часто встречающийся во всех зонах Тихого океана – экваториально-тропической, субтропической и субантарктической. Из неспороносных палочек, относящихся к роду *Pseudomonas*, наиболее часто обнаруживались виды *Ps. sinuosa* и *Ps. liquida*. В воде морей и океанов наиболее распространенным видом является представитель псевдобактерий – *Pseudobacterium biforme*.

Из числа спорообразующих микроорганизмов наиболее распространенными в Индийском океане, в водах Антарктики, в тропической зоне Тихого океана, в Северном Ледовитом океане являются разновидности *Bacillus catenula*, *Bac. idosus* и *Bac. filaris*.

В Атлантическом, Индийском, Тихом и Северном Ледовитом океанах и водах Антарктики, особенно в Гренландском море, из кокковых форм наиболее распространены виды *Micrococcu salbicans* и *Micr. radiatus*. В небольших количествах встречались и представители рода *Sarcina* – *S. subflava* и *S. luteola*.

Кроме бактериальных организмов в Мировом океане встречаются дрожжи и микроскопические грибы. Большая часть видов дрожжей и дрожжеподобных организмов обнаружена в водах Черного, Охотского морей и в прибрежных районах Атлантического, Индийского океанов. Другие виды дрожжей были найдены в илах, на поверхности морских водорослей, морских рыб и беспозвоночных. Дрожжевые и дрожжеподобные

организмы морского происхождения в основном относятся к родам *Candida*, *Debaryomyces*, *Hansenula*, *Saccharomyces*, *Sporobolomyces*, *Nadsoniamyces*, *Torulopsis*, *Trichosporon*, *Rhodotorula*, *Pichia* и представлены большим разнообразием видов.

Из спорообразующих дрожжей наиболее часто обнаруживался вид *Debaryomyces rosei*, даже в водах вблизи Северного полюса, Гренландского и Норвежского морей, на больших глубинах в Гренландском море – 1000-3040 м.

Из аспорогенных дрожжей чаще всего встречался вид *Torulopsis aerea* на разных глубинах в Центральной Арктике, в Норвежском море и Индийском океане.

В морской воде обитают светящиеся бактерии. Еще в прошлом веке было выяснено, что свечение (*билюминесценция*) слизи, покрывающей рыбу чешую, медуз, моллюсков, инфузорий и других мелких животных, населяющих морскую воду, обуславливается развивающимися на их поверхности в огромных количествах светящимися бактериями.

Билюминесценция бактерий – окислительный процесс, в результате которого высвобождается световая энергия. Окислению подвергается находящееся внутри клеток фотогенное вещество – *люциферин* под влиянием фермента *люциферазы* в присутствии кислорода. Билюминесценция бывает тем ярче, чем сильнее приток воздуха, например там, где вспенивается вода, – у винта корабля, в зоне прибоя.

Описано большое число светящихся морских бактерий, среди которых обнаружены кокки, неспороносные подвижные палочки, вибрионы и некоторые грибы.

В воде лиманов содержится много сероводорода. Здесь развиваются бесцветные серобактерии, осуществляющие окислительные процессы при участии кислорода воздуха с образованием серной кислоты. Однако получается нейтрализовать сероводород, особенно в неглубоких морских заливах, защищенных от ветра, где не происходит быстрой замены сероводородной воды свежей, микроорганизмам не удается. Вокруг таких заливов на далекое расстояние разносится удушливый запах сероводорода, а в их воде развиваются пурпурные серобактерии и таком количестве, что она кажется окрашенной и красный цвет. Такое явление наблюдается у берегов Дании («красные моря») и в лиманах вблизи Одессы. Илы соленых, пресных водоемов и лиманов используются в качестве лечебных грязей. В формировании лечебных грязей большую роль играют микроорганизмы. Биохимические процессы их жизнедеятельности приводят к различным преобразованиям органических веществ грязи и к появлению в ней биогенных элементов. В этих процессах участвуют многие группы бактерий, разлагающих углеводы, белки, жиры, а также десульфатирующие бактерии и железобактерии. Общее число микроорганизмов обычно достигает очень больших величин.

Особенно велико значение железобактерий, деятельность которых способствует выпадению из воды окислов железа. Черный цвет лечебной грязи на дне водоемов обусловлен гидратом сернистого железа, образуемым при восстановлении окислов железа сероводородом, выделяемым десульфатирующими бактериями. На воздухе гидрат сернистого железа окисляется кислородом и грязь принимает серый цвет.

Вопросы для самоконтроля

1. Микрофлора водоёмов.
2. Микрофлора вод мирового океана.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Основная

1. Мудрецова-Висс, К.А. Микробиология, санитария и гигиена / К. А. Мудрецова-Висс, В. П. Дедюхина. - 4-е изд., испр. и доп.– М. : ИД ФОРУМ : Инфра-М, 2010.–400 с.
2. Санитарная микробиология [Электронный ресурс] / Р. Г. Госманов.–1-е изд. - Электрон. текстовые дан. – СПб.: Лань, 2010. – 240 с.

Дополнительная

1. Вербина, Н.М. Гидромикробиология с основами общей микробиологии. – М. : «Пищевая промышленность», 1980. – 288 с.

Лекция 10

РОЛЬ МИКРООРГАНИЗМОВ В КРУГОВОРОТЕ ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА В ВОДОЕМЕ

10.1 Фотолитотрофы

К фотолитотрофам относятся пурпурные серобактерии (облигатные фотолитотрофы и миксотрофы), зеленые серобактерии (облигатные фотолитотрофы) и несерные пурпурные бактерии (фотоорганотрофы).

Пурпурные серобактерии (*Thiorodaceae*). Довольно крупные одноклеточные микроорганизмы, имеющие вид овальных клеток (размером 5x20 мкм) – *Chromatium okenii* или гигантские спириллы (3,5x50 мкм) – *Thiospirillum jenense*, подвижные, монотрихи. Имеются и другие формы. Внутри клеток обязательно содержатся капельки серы, образовавшиеся при окислении сероводорода. Она откладывается внутри клеток и далее может окислиться до H_2SO_4 . Другим запасным веществом внутри их клеток являются скопления поли-р-оксимасляной кислоты, которая может вовлекаться в обмен веществ клетки в качестве источника энергии. У многих пурпурных серобактерий имеются газовые вакуоли.

Пигменты расположены на поверхности особых пузырьков, образующихся за счет разрастаний внутрь клеток цитоплазматической мембраны, называемых *кроматофорами*. Массовое развитие пурпурных серобактерий часто приводит к образованию пурпурных налетов на иле или окрашенных слоев воды в водоеме. Пурпурные серобактерии осуществляют фотосинтез.

Для превращения CO_2 в органические вещества тела они используют в качестве донора водорода сероводород и световую энергию. Сероводород служит донором водорода только для некоторых пурпурных серобактерий, являющихся облигатными фотолитотрофами. Большинство пурпурных серобактерий, кроме того, могут в определенных условиях в качестве источника углерода и энергии использовать органические вещества, поэтому их относят к миксотрофам.

Зеленые серобактерии (*Chlorobiaceae*). Это облигатные фотолитотрофы. Сероводород для них является единственным донором водорода. Мелкие, одиночные или в виде скоплений неподвижные клетки. Сера не откладывается внутри клеток, но может накапливаться вне клеток. Пигменты у зеленых серобактерий сосредоточены в вытянутых плоских пузырьках – *везикулах*, расположенных по периферии клетки непосредственно под цитоплазматической мембраной. Наиболее хорошо изученный представитель зеленых серобактерий – *Chlorobium limicola*. Бактериальный фотосинтез протекает в водоемах на известной глубине, где различные фототрофные бактерии находят для себя благоприятные условия (наличие CO_2 , сероводорода, скапливающегося там в результате аммонификации белков и десульфатации, отсутствие кислорода).

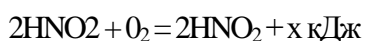
Несерные пурпурные бактерии (*Athiorodaceae*). К ним относятся спириллы и палочковидные подвижные бактерии, монотрихи, факультативные анаэробы. Сера в клетках не содержится, так как эти бактерии не используют сероводород. Донорами водорода для них могут быть молекулярный водород или органические вещества, поэтому несерные пурпурные бактерии относят к фотоорганотрофам.

Развиваясь в темноте, эти бактерии окисляют органические вещества кислородом воздуха. При интенсивном освещении преобладает фотосинтез, а окислительные процессы останавливаются, бактерии живут анаэробно. При меньшей интенсивности света преобладают окислительные процессы, протекающие так же, как и у гетеротрофов. Они имеют все обычные ферменты (переносчики водорода, НАД, ФАД, цитохромы); у них функционирует ЦТК.

Хемолитотрофы. К ним относятся нитрифицирующие бесцветные серобактерии, тионовые, окисляющие сурьму и водородные бактерии. Среди них имеются облигатные

хемолитотрофы, развитие которых угнетается в присутствии даже незначительных количеств органических веществ. Однако имеются и факультативные литотрофы, способные в зависимости от внешних условий менять автотрофный тип обмена на гетеротрофный. В определенных условиях они могут использовать в качестве источников углерода органические соединения. Энергию получают при окислении неорганических веществ (миксотрофы). Почти все хемолитотрофы – аэробы. Окисление неорганических веществ осуществляют кислородом воздуха.

Н и т р и ф и ц и р у ю щ и е б а к т е р и и . В результате аммонификации белковых веществ в почве и водоемах образуется аммиак, окисляющийся специфическими микроорганизмами в две фазы



Процесс окисления аммиака в нитрат получил название *нитрификации*, а бактерии были названы *нитрифицирующими*.

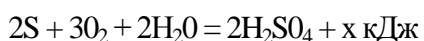
Возбудители нитрификации были открыты С. П. Виноградским, установившим, что каждая фаза окисления аммиака обуславливается деятельностью определенного микроорганизма. К возбудителям первой фазы нитрификации относится *Nitrosomonas europaea*, имеющий вид овальных клеток с одним жгутиком или с пучком и жгутиков, спор не имеет. Представителем морских нитрификаторов является *Nitrosocystis oceanus*. К возбудителям второй фазы нитрификации относятся *Nitrobacter winogradskii* и *Nitrobacter agilis* – очень мелкие клетки.

Энергию, получаемую при окислении аммиака, нитрифицирующие бактерии используют для синтеза веществ своего тела из CO_2 , т. е. являются облигатными хемолитотрофами, за исключением некоторых видов (*N. agilis*), способных расти на среде с ацетатом, играющим роль донора водорода в отсутствие нитрита.

Процесс нитрификации обуславливает обогащение почвы и водоемов нитратами – наиболее доступной для растений формой азотистого питания. Нитрифицирующие бактерии являются важным звеном в круговороте азота в природе.

С е р о б а к т е р и и . К ним относятся тионовые бактерии и бесцветные серобактерии, которые в отличие от фотолитотрофных пурпурных и зеленых серобактерий не содержат в своих клетках необходимых для фотосинтеза пигментов.

Тионовые бактерии относятся к роду *Thiobacillus*. Представители – *Thiobacillus thiooxidans*, *T. thioparvus*, *T. denitrificans*. Это неспорообразующие, грамотрицательные палочки, подвижные, монотрихи. За редкими исключениями все тионовые бактерии являются облигатными хемолитотрофами. Энергию получают при окислении элементарной серы и ее восстановленных соединений (сероводорода, сульфидов, тиосульфата и др.). В качестве конечного продукта накапливаются серная кислота или сульфаты



Эту реакцию осуществляет *T. thiooxidans* – обитатель кислых вод, необычайно кислотолюбивая бактерия, способная переносить концентрацию серной кислоты в среде до 5% (рН 2-4). Кроме элементарной серы тионовыми бактериями (*T. thioparvus*) окисляется тиосульфат



Образующаяся при реакциях серная кислота нейтрализуется имеющимися в среде основаниями.

Тионовые бактерии – облигатные аэробы, за исключением *T. denitrificans*, обладающего способностью к ассимиляции CO_2 в присутствии нитратов за счет анаэробного (нитратного) дыхания. Окисление серы *T. denitrificans* кислородом нитратов происходит следующим образом



Этот организм способен к гетеротрофному росту.

Остальные тионовые бактерии строят клеточное вещество из CO_2 за счет энергии, освобождающейся при окислении элементарной серы, тиосульфата и других восстановленных соединений серы. Исключение составляет *T. ferrooxidans*, который, кроме серы, способен окислять сульфидные минералы и закисное железо, как и железобактерии. Однако по ряду других признаков его относят к тионовым бактериям. Типичный хемолитотроф. Выносит высокие концентрации серной кислоты – до 7,5 г на 1 л (рН до 1).

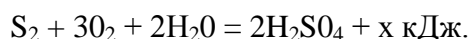
Бесцветные серобактерии бывают одноклеточными и многоклеточными и являются обитателями водоемов, вода которых содержит сероводород. Особенно много их в загрязненных водоемах и серных источниках. Внутри клеток они откладывают серу в виде мелких капель. Многоклеточные серобактерии относятся к семейству *Beggiatoaceae*, образуют длинные нити – трихомы, состоящие из ряда плоских цилиндрических клеток. К этому семейству принадлежат роды *Beggiatoa* – нити, не прикрепленные к субстрату, находящиеся в постоянном движении благодаря способности к скользящему движению и *Thiothrix* – нити, прикрепленные к субстрату слизистой подушечкой. С.Н. Виноградским впервые была обнаружена способность микроорганизмов к хемосинтезу на примере *Beggiatoa*.

Одноклеточные серобактерии – это либо гигантские (размером более 10 мкм) одиночные неподвижные клетки – *Achromatium*, либо мелкие подвижные тиоспириллы – *Thiospira*.

Серобактерии окисляют сероводород



Образовавшаяся элементарная сера откладывается группа клеток, а при недостатке сероводорода в среде серобактерии окисляют ее далее до серной кислоты



Энергия, образовавшаяся при окислении сероводорода и серы, используется бесцветными серобактериями для синтеза клеточного вещества из CO_2 .

Серобактерии играют важную роль в жизни водоема. Образующийся в результате процессов аммонификации и десульфатации сероводород может привести к заморным явлениям, а серобактерии предотвращают его ядовитое действие путем окисления.

Сравнительно недавно Г.Н. Ляликовой-Медведевой был обнаружен новый микроорганизм – неспорозная палочка, отнесенная к новому роду (*Stibiobacter*), способная осуществлять хемосинтез нового типа. Этот организм окисляет трехвалентные соединения сурьмы в пятивалентные и использует энергию, освобождающуюся в этом процессе, для построения веществ тела из CO_2 .

Водородные бактерии. Водородные бактерии – в основном аэробы – окисляют молекулярный водород. При наличии H_2 , CO_2 и O_2 они развиваются как облигатные хемолитотрофы. Если в их распоряжении имеются наряду с CO_2 и H_2 органические субстраты, то водородные бактерии для синтеза клеточного вещества используют углерод

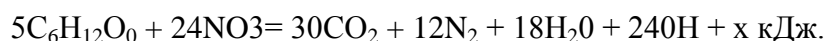
органических соединений, а не CO_2 , но энергию для этого синтеза получают путем окисления H_2 , поэтому их относят к миксотрофам.

Водородные бактерии окисляют молекулярный водород при участии фермента *гидрогеназы*



Окисление H_2 обеспечивает хемосинтетическое фосфорилирование, т. е. синтез АТФ.

К водородным бактериям относятся представители рода *Hydrogenomonas* – мелкие неспороносные палочки с полярными жгутиками. Способность окислять водород и ассимилировать CO_2 имеется также у микобактерий, нокардий и у определенных кокков. Некоторые водородные бактерии (*Micrococcusdenitrificans*) относятся к литогетеротрофам. Они окисляют разнообразные органические вещества не только кислородом воздуха, но и кислородом нитратов

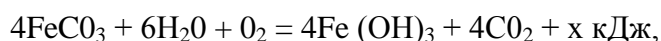


Этот процесс является вариантом нитратного (анаэробного) дыхания, за счет энергии которого *M. denitrificans* строит клеточные вещества из углерода органических соединений (*водородная денитрификация*).

К водородным бактериям принадлежат также нецанно описанные *карбоксидобактерии*, способные окислять угарный газ (CO) и H_2 , – представители родов *Seliberia*, *Pseudomonas* и *Renobacter*.

Практическое использование водородных бактерий возможно космических кораблях и других объектах сзамкнутой экологической системой. Источником водорода и кислорода служит электролиз воды.

Железобактерии. Рассматриваются здесь в силу сложившейся традиции, так как долгое время существовало мнение, что они – типичные автотрофы, способные окислять кислородом воздуха закисное железо в окисное по уравнению



| | |
|----------|---------|
| Закисное | Окисное |
| железо | железо |

а освобождающуюся энергию использовать для построения веществ тела из CO_2 .

Окислы железа обнаруживали в виде спирально закрученных нитей, отходящих от клеток, а также в виде капсул или слизистых влагилиц, покрывающих клетки снаружи. Впоследствии эта группа бактерий, как ни одна другая, интенсивно изучалась. В настоящее время доказана способность практически всех видов железобактерий к гетеротрофному образу жизни, поскольку энергия окисления закисного железа и марганца не служит для ассимиляции CO_2 .

Исключение составляет *Thiobacillu sferrooxidans* – организм, относящийся к тионовым бактериям и обладающий способностью к автотрофному образу жизни за счет окисления не только железа, но и соединений серы. Развивается в очень кислой среде (рН от 4 до 1).

У остальных железобактерий окисление марганца и железа связано с действием перекиси водорода, образующейся в процессе окисления органических веществ при переносе электрона по дыхательной цепи. Если в среде отсутствуют железо или марганец, то H_2O_2 вызывает угнетение и даже лизис клеток. При наличии в среде Fe^{2+} и Mn^{2+} накопления H_2O_2 в среде не происходит, так как она расходуется на окисление Fe и Mn, окислы которых откладываются в слизистой капсуле или чехле на поверхности клеток. В этом состоит физиологическое значение процессов окисления Fe^{2+} и Mn^{2+} для железобактерий.

Были открыты новые формы этих бактерий. Г. А. Заварзин, В. В. Балашова и Г. А. Дубинина показали, что к железобактериям относятся значительно различающиеся между собой группы микроорганизмов – нитчатые бактерии, флексибактерии, одно клеточные бактерии из различных систематических групп, микоплазмы, цианобактерии, которых объединяет способность окислять восстановленные соединения не только железа, но и марганца и откладывать их окислы на поверхности клеток. Некоторые из них представлены на рис. 68.

Наиболее распространены в водоемах различные представители рода *Siderocapsa*, разрушающие органические комплексные соединения железа или марганца. Они используют органическую часть комплекса, окисляя ее, а остающиеся железо или марганец откладываются в рыхлой слизистой капсуле, внутри которой может располагаться несколько клеток овальной формы.

Сапрофитные микоплазмы принимают активное участие в окислении железа и марганца. Характерной скоростью микоплазма является отсутствие клеточной стенки, полиморфизм наличие фильтрующихся форм. Это мельчайшие свободноживущие микроорганизмы размерами около 10 нм. К ним в настоящее время относят роды *Gallionella* (окисляет только железо, окислы которого откладываются в виде тонких нитей или лент, иногда образует зооглеи); *Metallogenium* (окисляет только марганец, окислы которого в виде оформленных конических фигур покрывают микроколонии в виде «паучка») и *Siderococcus* – мелкие, прикрепляющиеся кокки (окисляют только железо). Аморфный гидрат окиси железа у последнего откладывается вокруг клетки, иногда образует нитевидные формы, а также зооглеи (полиморфизм). К нитчатым формам относятся представители родов *Leptotrix* и *Crenotrix*, некоторые скользящие бактерии (флексибактерии), актиномицеты, цианобактерии.

Место обитания железобактерий в водоеме связано с наличием восстановленных форм железа и марганца, растворенных органических веществ, кислорода и кислотностью среды, близкой к нейтральной. Капсулы, чехлы, пропитанные окислами железа и марганца, или микроколонии быстро погружаются на дно, они приурочены в основном к поверхностному слою ила (0-10 см), где и формируются железомарганцевые конкреции, сохраняющие форму колоний микроорганизмов, из которых они образовались. Таким образом происходит образование дерновых и болотных руд.

10.2 Хемоорганотрофы

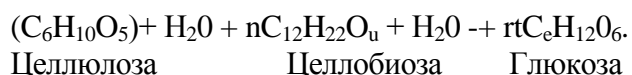
Практически все природные углерод- и азотсодержащие органические вещества, большинство из которых представляют собой высокомолекулярные соединения, разлагаются хемоорганотрофами.

Вначале, как правило, происходит ферментативный гидролиз этих соединений, упрощающий их молекулы, при участии соответствующих ферментов микроорганизмов. В этом процессе микроорганизмы энергию не получают. Далее продукты ферментативного гидролиза в аэробных условиях подвергаются полному окислению до CO_2 и H_2O , а в отсутствие кислорода – сбраживаются. В результате этих процессов клетки микроорганизмов снабжаются энергией. Продукты ферментативного гидролиза используются также в качестве источника питания. Вначале рассмотрим превращения углеродсодержащих органических веществ.

Микроорганизмы, разлагающие целлюлозу. Целлюлоза является наиболее распространенным природным биополимером. Из общего количества органических веществ, ежегодно образующихся на нашей планете и составляющих 30 млрд. т, 80% приходится на долю растительных клеточных стенок, главной составной частью которых является целлюлоза. После отмирания растений целлюлоза разлагается при участии микроорганизмов. Этот процесс имеет большое значение в круговороте углерода в почве и водоемах.

Целлюлоза состоит из 100-200 молекул глюкозы, соединенных в виде цепочки. Она нерастворима в большинстве растворителей, так как в результате взаимодействия ее нитевидных молекул образуются прочные мицеллы, собранные в пучки – фибриллы. Целлюлоза придает механическую прочность растениям, участвует в построении клеточных стенок.

Целлюлоза, как и другие высокомолекулярные соединения, не может проникнуть в микробную клетку в неизменном виде и предварительно расщепляется под влиянием фермента *целлюлазы*, имеющегося у многих микроорганизмов. Промежуточными продуктами расщепления целлюлозы являются олигосахариды целлобиоза и глюкоза



В аэробных условиях целлобиоза и глюкоза окисляются полностью (до CO₂ и H₂O). Наиболее активными из аэробных микроорганизмов, окисляющих целлюлозу, являются плесневые грибы родов *Fusarium*, *Chaetomium*, *Trichoderma*, *Aspergillus* и др. Целлюлазы грибного происхождения – экстрацеллюлярные ферменты и выделяются клетками в среду. Основная роль в аэробном распаде целлюлозы принадлежит миксобактериям, относящимся в основном к трем родам – *Cytophaga*, *Sporocytophaga*, *Sorangium*, подробно изученным С. Н. Виноградским, А. А. Имшенецким и др. Микроорганизмы этих родов обитают в навозе и почвах, удобренных навозом, целлюлаза ими в окружающую среду не выделяется, а сконцентрирована на поверхности клетки, поэтому гидролиз целлюлозы происходит лишь при непосредственном соприкосновении бактерий с целлюлозными волокнами. Продукты гидролиза – целлобиоза и глюкоза – в среде не накапливаются, а немедленно окисляются до CO₂ и H₂O.

Аэробное разложение целлюлозы осуществляют также вибрионы рода *Cellvibrio*, актиномицеты родов *Micromonospora*, *Streptomyces* и др.

В анаэробных условиях целлюлоза разлагается мезофильными и термофильными целлюлозными бактериями, относящимися к роду *Clostridium*. Они широко распространены в природе – в почве, компостах, навозе, речном иле, в сточных водах. Из мезофилов активно разрушает целлюлозу *Clostridium omelianskii*, впервые выделенный В. Л. Омелянским. Термофильные анаэробные целлюлозоразрушающие микроорганизмы были подробно изучены А. А. Имшенецким. К ним относится *Clostridium thermocellum*, оптимальная температура развития которого лежит около 60° С, а максимальная приближается к 70° С.

В анаэробных условиях продукт гидролиза целлюлозы – целлобиоза сбраживается им по типу маляно-кислого брожения с образованием этилового спирта, уксусной, молочной, масляной и муравьиной кислот и газообразных продуктов – молекулярного водорода и CO₂. Считали, что при анаэробном разложении целлюлозы образуется метан – CH₄. В настоящее время установлено, что метан образуется сопутствующей микрофлорой из вышеупомянутых жирных кислот, а также из молекулярного водорода и CO₂.

Микроорганизмы, разлагающие пектиновые вещества. Пектиновые вещества входят в состав срединных пластинок и склеивают клетки и ткани молодых растений. Особенно много пектиновых веществ в плодах, ягодах, корнеплодах. Эти вещества представляют собой гетерогенные полисахариды, в основе молекулы которых лежит цепь полигалактуроновой кислоты, соединенной с нейтральными сахарами. Пектиновые вещества различных растений и разных их органов заметно различаются по своему составу. Они бывают трех типов: протопектин – водонерастворимая составная часть клеточной стенки (под действием фермента протопектиназы превращается в растворимый пектин); пектиновая кислота – водорастворимый полимер галактуроновой кислоты, содержащий метилэфирные связи (под влиянием фермента пектинметилэстеразы эти связи разрываются и образуются метанол и пектиновая

кислота); пектовая кислота – водорастворимый олимер галактурановой кислоты, на которую воздействует фермент полигалактураноза (при этом образуется d-галактурановая кислота).

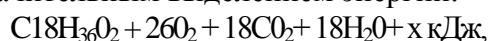
Пектиновые вещества расщепляются многими микроорганизмами, обладающими пектолитическими ферментами. В аэробных условиях продукты ферментативного гидролиза – галактоза и арабиноза окисляются до CO_2 и H_2O . Этой способностью обладают некоторые плесневые грибы (*Mucor stolonifer*, *Cladosporium herbarum*, *Alternaria*) и бактерии (*Bacillus subtilis*).

В анаэробных условиях галактоза и арабиноза подвергаются маслянокислому брожению при участии маслянокислых бактерий – *Clostridium pectinovorum* и *Clostridium felsineum*. Продуктами брожения *Clostr. pectinovorum* являются масляная и уксусная кислоты, CO_2 и H_2 , а *Clostr. felsineum* образует, кроме того, некоторое количество ацетона и бутилового спирта.

Микроорганизмы, разлагающие лигнин. Лигнин является одним из главных компонентов растительных тканей после целлюлозы и выполняет механические функции. В молодых растениях лигнина сравнительно мало, в одревесневших тканях старых деревьев до 35% на сухое вещество. Он нерастворим в воде и органических растворителях, обладает очень сложным составом, хотя включает лишь три элемента – углерод, азот и водород (состоит в основном из производных фенилпропана, связанных между собой при помощи различных эфирных и C—C связей, чрезвычайно устойчивых к действию ферментов). Способностью разрушать лигнин обладают лишь высшие грибы класса *Basidiomycetes*, некоторые бактерии родов *Achromobacter*, *Pseudomonas* и актиномицеты. Однако разложение лигнина в почве и водоемах протекает чрезвычайно медленно, поэтому он служит основой образования почвенного и водного гумуса.

Микроорганизмы, разлагающие жиры и высокомолекулярные жирные кислоты. Жиры представляют собой сложные эфиры глицерина и высших жирных кислот. В почву и водоемы попадают с остатками растений и животных. Многие микроорганизмы, имеющие фермент *липазу*, способны разлагать жиры. При этом вначале происходит гидролиз жира при участии липазы с образованием глицерина и жирных кислот.

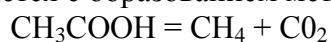
Образовавшийся глицерин быстро подвергается в дальнейшем окислению до CO_2 и H_2O , а жирные кислоты окисляются очень медленно. Вначале они накапливаются в субстрате, а затем медленно окисляются до CO_2 и H_2O ; эти процессы сопровождаются значительным выделением энергии:



Наиболее активное участие в превращениях жиров принимает *Pseudomonas fluorescens* – мелкая, не образующая спор палочка, выделяющая в среду зеленоватый пигмент. В разложении жиров также участвуют и другие аэробные бактерии *Pseudomonas putrescens*, *Chromobacterium prodigiosum*, а также плесневые грибы – *Oidium lactis* (молочная плесень), некоторые виды *Aspergillus*, *Penicillium*.

Метанообразующие бактерии – облигатные анаэробы. Эта группа микроорганизмов занимает особое положение, играет важную роль в круговороте веществ в природе, в частности, в водоемах и включает многие микроорганизмы, морфологически резко различающиеся и образующие метан тремя путями.

Первый путь – образование метана в результате метанового брожения (уксусная кислота сбраживается с образованием метана и углекислоты)

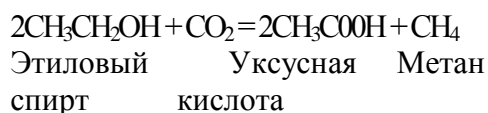


Уксусная кислота
Метан

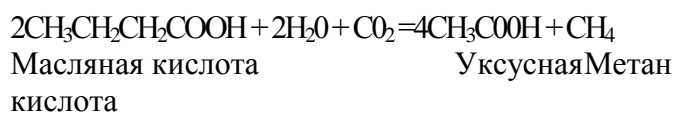
Это типичное брожение, при котором восстановление одной части молекулы органического вещества происходит за счет окисления другой ее части. Процесс

разложения уксусной кислоты осуществляют *Methano-sarcina*, *Methanococcusmazei*, *Methanobacterium soehngeni*.

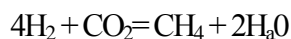
Второй путь – образование метана в результате анаэробного дыхания (единственным акцептором водорода служит углекислота, а донором водорода могут быть органические вещества – спирты и органические кислоты, при этом происходит восстановление углекислоты в метан)



Эту реакцию осуществляет один из симбионтов смешанной культуры *Methanobacterium omelianskii*, которая после открытия ее В. Л. Омелянским долгое время считалась самостоятельным видом. Теперь достоверно установлено, что *M. omelianskii* состоит из двух симбиотических организмов, первый из которых сбраживает этиловый спирт с образованием H_2 и уксусной кислоты, а второй использует H_2 для образования метана путем восстановления CO_2 . Если донором водорода для восстановления CO_2 является не спирт, а масляная кислота, то реакция идет следующим образом

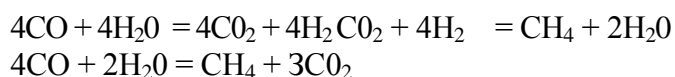


Этот процесс осуществляют те же метанобразующие бактерии, которые разлагают уксусную кислоту. Для других метанобразующих бактерий донором водорода является молекулярный водород:



Этот процесс осуществляет второй метанобразующий симбионт смешанной культуры *Methanobacterium omelianskii*.

Третий путь – образование метана из окиси углерода, при этом в качестве промежуточных продуктов, очевидно, образуются CO_2 и H_2



Этот процесс осуществляет *Methanosarcina barkerii*.

Образование метана для всех метанобразующих бактерий является энергетическим процессом, обеспечивающим все потребности клеток в энергии. В переносе электронов участвуют НАД и железосодержащий белок ферредоксин, а не цитохромы. Механизм регенерации молекулы АТФ пока остается неясным. В строительном обмене используются вещества, которые подвергаются окислению (спирты, органические кислоты). Углеводы метанобразующими бактериями не используются. По типу обмена среди метанобразующих бактерий есть и хемолитотрофные формы, использующие лишь водород и углекислоту, и хемоорганотрофные микроорганизмы, сбраживающие органические соединения. Некоторые из метанобразующих бактерий являются, как и десульфатирующие бактерии, хемолитогетеротрофами.

Метанобразующие бактерии широко распространены в природе. Они обитают в болотах, где образуют «болотный газ» – метан, в иловых отложениях озер и морей, в почвах, в сточных водах, являются обязательным компонентом «активного ила» очистных сооружений и рубца жвачных животных.

В любом случае метанобразующие бактерии подключаются к конечным продуктам предшествующего брожения – жирным кислотам, спиртам, CO_2 и H_2 , которые они превращают в метан. Примерно 25-30% метана образуется в результате синтеза из углекислоты и водорода, остальные 70-75 % метана – при сбраживании уксусной кислоты.

Метаноокисляющие бактерии. Метан, образующийся в больших количествах, в водоемах не накапливается, так как окисляется вновь до CO_2 .

Метаноокисляющие бактерии относятся к *метилотрофам* – микроорганизмам, окисляющим одноуглеродные соединения. Они чрезвычайно широко распространены в природных экосистемах, в частности, в водоемах и представлены бактериями многих родов – *Pseudomonas*, *Mycobacterium*, *Bacillus*, *Arthrobacter*, актиномицетами. Являются облигатными аэробами, так как метан может окисляться только при наличии в воде растворенного кислорода. Среди них имеются облигатные метилотрофы, окисляющие только метан CH_4 – *Pseudomonasmethanica* и *Methanomonasmethanooxidans*.

В болотах или стоячих водах, где аэробное окисление метана затруднено, он может выделяться в атмосферу и иногда воспламеняться (болотные огни).

Другие метилотрофы способны окислять более сложные одноуглеродные органические соединения – метиловый спирт, метиламины, формальдегид, муравьиную кислоту и их метальные производные – этан, пропан, бутан и этилен.

Метаноокисляющие бактерии имеют большое значение в круговороте веществ в природе и кислородном режиме водоема.

Кроме рассмотренных микробиологических процессов минерализации органических углеродсодержащих соединений, важное значение имеют превращения органических азотсодержащих веществ, попадающих в больших количествах в почву и водоемы с остатками животных и растений (белки, мочевины, хитин и др.). Азот этих соединений недоступен для растений. Они нуждаются в минеральных формах азота – аммонийных солях и т. п. Минерализацию белков, мочевины и хитина осуществляют разнообразные хемоорганотрофные микроорганизмы – бактерии, актиномицеты и грибы.

Микроорганизмы, разлагающие белки. Высокомолекулярные соединения, какими являются белки не могут усваиваться бактериальной клеткой в неизменном виде. Расщепление белков происходит под влиянием микроорганизмов, обладающих *протеолитическими* ферментами в несколько этапов: белки = пептоны = полипептиды = аминокислоты.

Разложение белков микроорганизмами называется *аммонификацией* или *гниением*, а микроорганизмы – *аммонификаторами* или *гнилостными*. Важное место среди них занимают бактерии. К аэробным аммонификаторам относятся в основном спорообразующие палочки *Bacillusmesentericus* (картофельная палочка), *Bac. subtilis* (сенная палочка), *Bac. mycooides* (земляная палочка), *Bac. megaterium*. Неспороносными аэробными аммонификаторами являются пигментобразующие палочки – *Pseudomonasfluorescens* и *Bacteriumprodigiosum*. К факультативно-анаэробным аммонификаторам относятся неспороносные палочки *Proteusvulgaris* (вульгарный протей), *Escherichiacoli* (кишечная палочка), к облигатным анаэробам – споровые палочки *Bac. putrificus*, *Bac. sporogenes*.

Образующиеся при расщеплении белков аминокислоты диффундируют внутрь клетки и могут использоваться микроорганизмами в качестве источника углерода и азота в конструктивном обмене для синтеза клеточного вещества либо подвергаются декарбоксилированию или дезаминированию.

Декарбоксилирование входящих в состав белков диаминокислот приводит к образованию наряду с CO_2 первичных аминов. Так, из лизина образуется кадаверин, из орнитина – путресцин, получившие название *птомаинов*, или трупных ядов.

Дезаминирование аминокислот сопровождается отщеплением аминогруппы, из которой образуется аммиак, а углеродный скелет аминокислоты используется микроорганизмами в энергетическом обмене чаще путем окислительного

дезаминирования, реже – путем восстановительного либо гидролитического дезаминирования. В результате дезаминирования аминокислот помимо NH_3 образуются органические кислоты (муравьиная, уксусная, пропионовая, масляная, валерьяновая и др.), а также высокомолекулярные спирты. Жирные кислоты претерпевают различные превращения в зависимости от вида бактерий и условий, в которых протекает процесс гниения. В *аэробных* условиях происходит полное окисление жирных кислот с образованием в качестве конечных продуктов (кроме аммиака) углекислоты, воды, а также сероводорода и иногда меркаптанов, обладающих запахом тухлых яиц. Сероводород и меркаптаны образуются из серосодержащих аминокислот – цистина, цистеина, метионина. В *анаэробных* условиях не может происходить полного окисления жирных кислот и они накапливаются в среде. Из ароматических аминокислот в анаэробных условиях образуются дурнопахнущие вещества – индол, скатол, фенол. Индол и скатол образуются обычно из триптофана.

Микроорганизмы, разлагающие мочевины. Аммонификация мочевины, азот которой может усваиваться растениями только после ее разложения, происходит при участии *уробактерий*, обладающих ферментом *уреазой*. Среди них имеются шаровидные бактерии и палочки (все они аэробы, образующие споры), в том числе и представитель шаровидных бактерий – *Planosarcinaureae*, являющаяся исключением в семействе *Coccaceae*. Кубики этой сарцины, состоящие из четырех – восьми кокков, имеют споры и покрыты многочисленными жгутиками, что также несвойственно кокковым формам. Из палочковидных бактерий наиболее энергично разлагает мочевины *Urobacilluspasteurii*.

Под влиянием уробактерий мочевины разлагаются до углекислого аммония, легко распадающегося на воду, аммиак и углекислый газ.

Благодаря образованию углекислого аммония происходит сильное подщелачивание среды (до рН 9-10), оптимум развития уробактерий наблюдается при рН 7,5-8,5. Они относятся к наиболее щелочелюбивым микроорганизмам.

За счет разложения мочевины почва и водоемы обогащаются доступными для растений формами азота.

Микроорганизмы, разлагающие хитин. Хитин – очень стойкое соединение – сложный азотсодержащий полисахарид, являющийся основным компонентом клеточных стенок многих грибов, например, базидиомицетов и аскомицетов, а также панцирных покровов насекомых, ракообразных и некоторых других беспозвоночных. После их отмирания хитин попадает в почву и водоемы, где осуществляется его разложение микроорганизмами – бактериями, актиномицетами, грибами под влиянием фермента *хитиназы*. Некоторые актиномицеты, например *Streptomycesgriseus* выделяют два фермента – хитиназу и хитобиазу. В результате действия хитиназы образуются хитобиаза и хитотриоза, которая затем расщепляется хитобиазой по мономеров.

Микроорганизмы, фиксирующие молекулярный азот. Связывание свободного газообразного азота N_2 с другими элементами и перевод его в органические соединения, в частности белки, называется фиксацией молекулярного азота и осуществляется только микроорганизмами.

В результате азотфиксации из азота атмосферы, недоступного растениям и животным, микроорганизмами синтезируется аммиак, из которого строятся клеточные белки микроорганизмов и белки растений. Жизнедеятельность азотфиксирующих бактерий обуславливает обогащение почвы и водоемов таким дефицитным элементом, как азот. Например, в мировом сельском хозяйстве в почву вносится 12 млн. т азота в год, а культурными растениями земного шара потребляется 100 млн. т. Недостающее количество азота компенсируется за счет его фиксации микроорганизмами. Азотфиксирующие бактерии делятся на две группы: азотфиксаторы, свободноживущие в почве и воде, и клубеньковые бактерии, находящиеся в симбиотических отношениях с некоторыми растениями, чаще всего с бобовыми (люпин, клевер, фасоль и др.).

Свободноживущие азотфиксаторы обитают в почве и водоемах. Классическими представителями являются бактерии родов *Clostridium* и *Azotobacter*. Наиболее активные из них следующие:

Clostridium pasteurianum – крупная спорообразующая подвижная палочка (перитрих), при образовании споры клетка раздувается в виде веретена, облигатный анаэроб, гетеротроф, нуждается в витаминах. Источником энергии для него является маслянокислое брожение. Обитает в ризосфере растений, при этом растение получает азот, а микроорганизм от растения – органические вещества и витамины, фиксирует 10-20 мг азота на 1 г сброженного сахара.

Azotobacter chroococcum – бактерия с определенным циклом развития. В молодом возрасте – крупная короткая подвижная (перитрих) палочка, имеющая капсулу, при делении клетки часто не расходятся и имеют вид носымерки. По мере старения подвижность утрачивается, клетки становятся шаровидными, слизистая капсула уплотняется, цитоплазма становится грубозернистой. Образуется покоящаяся форма – циста.

Азотобактер – облигатный аэроб, гетеротроф. Для конструктивного и энергетического обмена использует одни и те же вещества – углеводы, кислоты, спирты; при хорошей аэрации окисляет их до CO_2 и H_2O , не нуждается в дополнительных факторах роста, поскольку сам синтезирует витамины, которые наряду с фиксированным азотом значительно улучшают рост растений. Фиксирует до 20 г азота на 1 г использованного сахара при хорошей аэрации.

Кроме *Az. chroococcum* азотфиксирующей способностью, но в меньшей степени, обладают виды *Az. agile* и *Az. vinelandii*.

Механизм азотфиксации, несмотря на многочисленные исследования, долго оставался неясным. За последние 15 лет при использовании препаратов разрушенных клеток азотфиксаторов удалось выделить сложный ферментный комплекс, осуществляющий фиксацию азота – *нитрогеназу*, состоящую из двух высокомолекулярных компонентов с четвертичной структурой, содержащих в своем составе молибден и железо.

Фиксация азота тесно связана с цепью транспорта электронов к нитрогеназе, переносчиками которых являются белки ферредоксин и азотофлавин. Функционирование нитрогеназы сопряжено с расходом энергии АТФ. Первыми продуктами азотфиксации являются аммиак и глютаминовая кислота.

Доказано, что способностью фиксировать азот обладают также фотоавтотрофные и фотогетеротрофные микроорганизмы, сине-зеленые водоросли, сочетающие азотфиксацию с фотосинтезом, представители дрожжей из рода *Saccharomyces*, маслянокислые и пектинразлагающие бактерии из рода *Clostridium*, целлюлозные, метановые и водородные бактерии из рода *Bacillus*, десульфатирующие бактерии из рода *Vibrio*, некоторые спирохеты, актиномицеты и плесневые грибы.

При участии рассмотренных выше микроорганизмов в водоеме осуществляется круговорот органического вещества. Он связан с круговоротом отдельных биогенных элементов.

10.3 Круговорот углерода

Роль углерода в биосфере исключительно велика, так как из него создается бесчисленное множество органических соединений. Он является одним из основных биогенных элементов. Примерно 50% живого вещества состоит из углерода.

Основой жизни на Земле являются растения – первичные продуценты органического вещества, синтезирующие его из минерального соединения углерода – CO_2 в процессе фотосинтеза.

Для фотосинтеза необходима CO_2 . Без постоянного пополнения ее запасов невозможна жизнь на Земле. Частичное пополнение запасов CO_2 в атмосфере происходит в результате хозяйственной деятельности человека (сжигание полезных ископаемых – нефти, газа, каменного угля), при вулканических извержениях. Но основное количество углекислоты

высвобождается в результате минерализующей деятельности микроорганизмов, разлагающих животные и растительные остатки в почве и водоемах.

Благодаря большому разнообразию физиологических групп микроорганизмов обеспечивается разложение практически всех органических веществ до углекислоты и, следовательно, круговорот углерода. При подавлении жизнедеятельности микроорганизмов (например, при недостатке кислорода, повышенном давлении в водоеме) начинается накопление полуразрушенных остатков, например, образование торфа в болотах.

Углекислота в водоемах имеется в избытке как в свободном (CO_2), так и в связанном (в виде карбонатов и бикарбонатов) состоянии. CO_2 поступает в водоем из воздуха и образуется при дыхании всех живых организмов, обитающих в воде, а также при разложении органических углеродсодержащих веществ гетеротрофными микроорганизмами. Гетеротрофы развиваются за счет аллохтонного органического вещества, а также автохтонного – остатков фитопланктона, высших водных растений и отмерших бактериальных тел, подвергающихся аэробному разложению с выделением CO_2 еще в толще воды. При этом образуется устойчивый к разложению водный гумус, оседающий вместе с неразложившимися животными и растительными остатками на дно водоема и входящий в состав иловых отложений.

Наиболее типичными микробиологическими процессом, протекающими в водоеме, являются аэробный и анаэробный распад полисахаридов – целлюлозы, гемицеллюлозы и пектиновых веществ – самых распространенных углеродсодержащих органических соединений, входящих в состав высших водных растений и фитопланктона. В результате анаэробного распада целлюлозы и углеводов образуются углекислота, водород и жирные кислоты – уксусная, масляная, муравьиная, которые в иловых отложениях в свою очередь подвергаются анаэробному распаду при участии метанобразующих бактерий с образованием CH_4 и CO_2 . Метан образуется также из углекислоты и водорода при участии одного из компонентов смешанной культуры *Methanobacterium omelianskii*.

Этот газ составляет значительную часть болотного и озерного газа, поступая в воду, он вновь окисляется до CO_2 .

Скопления растительных остатков на дне водоемов, кроме углеводов, содержат в избытке и белковые вещества, разлагаемые при отсутствии кислорода анаэробными гнилостными бактериями.

В результате этого выделяется CO_2 и образуется гнилой ил, или сапропель, из которого произошли горючие сланцы и нефть. Сжигание этих продуктов возвращает природе углерод.

Свободная углекислота и бикарбонаты вновь включаются в круговорот, являясь источниками углерода для автотрофных организмов – растений, а также фото- и хемосинтезирующих микроорганизмов. Используя углерод углекислоты и минеральные соли, автотрофы строят свое клеточное вещество.

10.4 Круговорот азота

Для первичного синтеза органического вещества, осуществляемого растениями, наряду с углеродом в виде CO_2 необходим азот, из которого строятся белки растений – единственные источники азота для растительных животных. Для синтеза белка растения могут использовать азот только в минеральной форме – в виде аммиачных или азотнокислых солей. Их запасы в водоеме сравнительно невелики и пополняются за счет процесса нитрификации.

Имеющийся в избытке в водоемах азот в органической форме (белковый азот отмерших животных, растений и микроорганизмов) недоступен растениям и предварительно должен быть минерализован, что осуществляется в процессе аммонификации.

В атмосфере имеются колоссальные запасы молекулярного азота в виде инертного газа, вовлекаемого в биогенный круговорот двумя путями: под влиянием электрических

зарядов при грозе или в результате фотохимического окисления молекулярный азот превращается в NO_2 , которая растворяется в воде, попадает в водоемы и окисляется дальше до NO_3 ; микробиологическим путем в процессе азотфиксации.

Для осуществления круговорота азота в водоеме необходимо пополнение его запасов в атмосфере. К числу микробиологических процессов, приводящих к потере азота водоемом с параллельным поступлением газообразного азота в атмосферу, относится денитрификация.

Именно эти четыре микробиологических процесса обеспечивают круговорот азота в водоеме. Нитрификация, аммонификация и азотфиксация обогащают водоем азотом, денитрификация приводит к потере азота водоемом.

Нитрификация – процесс окислительный, поэтому идет только в кислородной зоне. Однако наиболее интенсивная нитрификация наблюдается в поверхностном слое ила и в придонных слоях воды, наименее интенсивная – в поверхностных слоях воды. Это объясняется, во-первых, тем, что из ила постоянно диффундирует аммиак, образующийся при аммонификации и подвергающийся далее окислению при участии нитрифицирующих бактерий и, во-вторых, тем, что эти бактерии обитают преимущественно на твердых субстратах. В случае использования лабораторных питательных сред наиболее активные клетки располагаются на осадке карбоната кальция и т. п.

Образующиеся в воде нитраты усваиваются фитопланктоном и вновь превращаются в органическую форму азота.

Аммонификация – процесс минерализации органического азота (белков тканей отмерших животных, растений и клеток микроорганизмов). Аммонификация протекает в толще воды, но наибольшее количество аммонификаторов имеется в поверхностном слое ила. В результате анаэробного разложения белков в иловых отложениях в водоем поступают значительные количества аммиака, сероводорода, углекислоты и др. Из придонных слоев воды аммиак поступает в поверхностные, где подвергается дальнейшим превращениям (нитрификации и денитрификации).

В пресных водоемах наиболее часто встречаются такие аммонификаторы, как *Pseudomonas fluorescens*, *Bacterium agile*, *Micrococcus albidus*, *Bacillus mycoides*, *Bac. oligonitrophilus*, *Bac. subtilis*, *Bac. mesentericus*, *Mycobacterium globiforme* и др. В зависимости от типа водоема в нем преобладают те или иные виды гнилостных микроорганизмов.

Первые стадии минерализации белковых веществ в водной толще протекают, главным образом, под воздействием неспороносной микрофлоры, а последующие – под воздействием преимущественно спороносных бактерий. Процент спороносной микрофлоры возрастает по мере углубления в иловые отложения. Общее количество аммонифицирующих бактерий в пресных водах зависит от характера водоема и времени года. Как правило, число бактерий бывает минимальным зимой и максимальным летом в связи с развитием и отмиранием планктона.

Азотфиксация – явление связывания атмосферного азота, т. е. переход его в форму соединений с другими элементами. Накоплен обширный материал по азотфиксации как в пресных водоемах, так и в Мировом океане.

Применение изотопного метода обнаружения азотфиксации и степени ее интенсивности, разработанного в США, позволяет учитывать азотфиксацию в пробах природной воды. Для этого прозрачные сосуды с пробами воды выдерживают на свету или в темноте в том же самом водоеме и на той же глубине, с которой отбирают эти пробы. Пробы воды перед погружением сосудов в водоем освобождают от природного молекулярного азота и насыщают меченым азотом N^{15} . После выдержки сосудов в водоеме путем масспектрофотометрического анализа определяют степень фиксации меченого азота в пробах.

Классические представители свободноживущих азотфиксаторов *Clostridium pasteurianum* (анаэроб), разновидности *Azotobacter*–*Az. agile* и *Az. chroococcum*

и др. (аэробы) были обнаружены С. И. Кузнецовым более чем в ста обследованных пресных водоемах. *Azotobacter*, как правило, обнаруживается в бактериопланктоне зарослей водных растений, в зонах растительных удобрений, на поверхности водорослей, мелководье или в придонных слоях воды, содержащей большие количества ила. В меньшем количестве и более редко этот организм встречается в водной толще открытых частей глубоких озер, например оз. Байкал. Очень часто *Az. agile* обнаруживается в загрязненных водоемах – например, в городских сточных водах и т. п., *Clostridium pasteurianum* встречается повсеместно в грунтах пресных водоемов, а также в мелких и прибрежных водах. В воде открытых озер этот азотфиксатор обнаруживается в значительно меньших количествах. Кроме типичных азотфиксаторов способность к фиксации молекулярного азота имеется и у других водных микроорганизмов. Так был открыт новый род и вид – *Azotofix. iicalensis*, обитающий в водной толще оз. Байкал. В пресных водах обнаружены и другие гетеротрофные азотфиксаторы – *Achromobactersp.*, *Aerobacteraerogenes*.

Азотфиксация имеет место и в море. В различных Морях и океанах обнаружено большое число видов свободноживущих азотфиксаторов. *Clostridium* обнаружен только в мелководных прибрежных районах. Источником углерода и энергии для азотобактера и других азотфиксирующих гетеротрофных бактерий в морской воде являются отмирающий фитопланктон и крупные частицы детрита. Азотфиксаторы были обнаружены даже в воде сероводородной зоны Черного моря, куда они очевидно попадают с осаждающимся детритом.

По количеству и частоте встречаемости в морских илах *Clostridium* преобладает над *Azotobacter*. Содержание азотобактера в илах выше, чем в воде, причем сероводород в илах не оказывает на него губительного действия. Азотфиксирующие виды родов *Pseudomonas*, *Vibrio* и *Spirillum* наблюдались в воде Черного моря повсеместно, летом в большем количестве, чем зимой.

Такое широкое распространение азотфиксирующих бактерий как в пресных, так и в морских водоемах безусловно определяет и их биологическую продуктивность. Так, по приближенным расчетам, сделанным для *Clostridium pasteurianum*, в пруду площадью 1 га и глубиной 1,5 м при времени генерации этой бактерии 4 ч за вегетационный период 110 сут в слое грунта толщиной 0,3 м при содержании 100 000 клеток в 1 г грунта фиксируется 440 кг азота.

Денитрификация – восстановление нитратов до нитритов, а затем до молекулярного азота. Этот процесс идет лишь тогда, когда в среде имеются легкодоступное органическое вещество, нитраты и создаются анаэробные условия, поэтому в иловых отложениях количество денитрификаторов значительно больше, чем в водной массе.

Потери азота водоемом в результате денитрификации составляют до 14%. Кроме того, потери азота происходят в результате процессов седиментации (осаждения) органической и минеральной взвесей. Там, где седиментация особенно интенсивна, осевшие на дно не до конца минерализованные остатки различных организмов и частицы детрита, содержащие азот, накапливаются и оказываются захороненными. В результате этого часть соединений связанного азота на долгое время выключается из биологического круговорота веществ.

Потери связанного азота в водоеме постоянно восполняются частично механическим путем за счет азота впадающих вод, минеральных удобрений и атмосферных осадков, но, главным образом, за счет микробиологических процессов – азотфиксации, нитрификации и аммонификации.

Круговорот серы. Сера – важная составная часть живой клетки, входящая в состав цистеина, цистина, метионина, тиамина, биотина, коэнзима А, кокарбоксылазы, глутатиона, некоторых антибиотиков и внутриклеточных запасных веществ микроорганизмов. После отмирания животных, растений и микроорганизмов белки их тела подвергаются гниению и сера освобождается в форме сероводорода.

Основное количество сероводорода в водоеме образуется в процессе десульфатации – восстановления сульфатов до сероводорода десульфатирующими бактериями. Сероводород угнетает развитие планктона, оравляет рыбу, делает воду непригодной для питья. В результате жизнедеятельности автотрофных микроорганизмов – серобактерий (бесцветных, пурпурных, зеленых) и тионовых бактерий происходит окисление сероводорода.

Если H_2S находится в водоеме в небольших количествах, то его окисление идет уже в поверхностной пленке ила при участии нитчатых серобактерий, а если содержание H_2S велико, то его окисление происходит в водной толще. В зоне проникновения света, где достаточное количество кислорода, наблюдается массовое развитие пурпурных и зеленых серобактерий, а также тионовых бактерий, окисляющих восстановленные соединения серы. Таким образом, превращение серы в водоеме состоит из двух микробиологических процессов – десульфатации и окисления восстановленных соединений серы до молекулярной серы и сульфатов. Интенсивность круговорота серы зависит от содержания в водоеме сульфатов, органических веществ и кислорода, а также от глубины проникновения света в толщу воды. В пресных водоемах, как правило, содержание сульфатов сравнительно мало, поэтому десульфатация в них наблюдается редко, а сероводород образуется при аммонификации. На дне водоемов во время их стагнации скапливается значительное количество сероводорода – до 787 мл/л.

В водоемах с большим содержанием сульфатов, обусловленным поступлением богатых сульфатами сточных вод, или в глубинных водах карстовых озер, образовавшихся в результате вымывания подземными водами гипсоносных пород, в некоторых озерах провального типа с высоким уровнем первичной продукции сульфатов много и нет полной циркуляции воды, а также в морских водоемах основная масса сероводорода образуется в результате десульфатации.

В поверхностных слоях воды, где создаются аэробные условия, десульфатирующие бактерии не встречаются. Десульфатация идет в поверхностном слое ила, откуда H_2S диффундирует в воду. В илах соленых озер, где происходит интенсивная десульфатация, плотность сульфатовосстанавливающих бактерий составляет 10^6 - 10^8 клеток на 1 г, в водной толще сероводородных соленых озер – 10^2 - 10^{15} , в морских осадках и водной толще пресных озер – 1 - 10^3 клеток на 1 г. В толще современных морских осадков жизнеспособные десульфатирующие бактерии найдены на глубине 280-345 см. Десульфатация имеет огромное значение для водоемов, поскольку вовлекает в круговорот серы такое относительно инертное вещество, как сульфаты. Не меньшее значение имеет бактериальное окисление сероводорода, накапливающегося в воде в результате аммонификации и десульфатации.

Вопросы для самоконтроля

1. Фотолитотрофы
2. Хемоорганотрофы
3. Круговорот углерода
4. Круговорот азота.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Основная

1. Мудрецова-Висс, К.А. Микробиология, санитария и гигиена / К. А. Мудрецова-Висс, В. П. Дедюхина. - 4-е изд., испр. и доп. – М. : ИД ФОРУМ : Инфра-М, 2010. – 400 с.
2. Санитарная микробиология [Электронный ресурс] / Р. Г. Госманов. – 1-е изд. - Электрон. текстовые дан. – СПб.: Лань, 2010. – 240 с.

Дополнительная

1. Вербина, Н.М. Гидромикробиология с основами общей микробиологии. – М. : «Пищевая промышленность», 1980. – 288 с.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Вербина, Н.М. Гидромикробиология с основами общей микробиологии. – М. : «Пищевая промышленность», 1980. – 288 с.
2. Мудрецова-Висс, К.А. Микробиология, санитария и гигиена / К. А. Мудрецова-Висс, В. П. Дедюхина. - 4-е изд., испр. и доп.– М. : ИД ФОРУМ : Инфра-М, 2010.–400 с.
3. Нетрусов, А.И. Микробиология / А.И. Нетрусов, И.Б. Котова. – М. : Издательский центр «Академия», 2012. – 384 с. ISBN 978-5-7695-8411-4
4. Санитарная микробиология [Электронный ресурс] / Р. Г. Госманов.–1-е изд. - Электрон. текстовые дан. – СПб.: Лань, 2010. – 240 с.

СОДЕРЖАНИЕ

| | |
|---|----|
| Введение | 3 |
| Лекция 1. Введение в микробиологию. Морфология и систематика микроорганизмов | 4 |
| 1.1. Предмет и задачи микробиологии | 4 |
| 1.2. Этапы развития микробиологии | 6 |
| 1.3 Морфология и систематика прокариотных микроорганизмов (бактерий) | 7 |
| Лекция 2. Морфология и систематика вирусов | 12 |
| 2.1 Особенности строения вирусов | 12 |
| 2.2. Систематика вирусов | 13 |
| Лекция 3. Строение эукариотической клетки. Морфология грибов | 14 |
| 3.1.Строение эукариотической клетки. | 14 |
| 3.2 Морфология грибов, особенности классификации | 16 |
| Лекция 4. Физиология микроорганизмов | 17 |
| 4.1 Рост и размножение бактерий | 17 |
| 4.2. Строительный и энергетический обмен веществ микроорганизмов и роль ферментов | 18 |
| 4.3. Строительный обмен микроорганизмов | 20 |
| Лекция 5. Генетика микроорганизмов | 22 |
| 5.1 Организация генетического материала бактерий. Генотип и фенотип | 22 |
| 5.2 Виды изменчивости у бактерий | 23 |
| 5.3 Мутации бактерий и их разновидности | 24 |
| 5.4 Генетические рекомбинации. Трансформация, трансдукция и конъюгация | 24 |
| Лекция 6. Влияние факторов внешней среды на микроорганизмы | 25 |
| 6.1 Физические факторы | 25 |
| 6.2 Химические факторы | 27 |
| 6.3 Биологические факторы | 31 |
| Лекция 7. Экология микробов Микробиология почвы Микробиология воздуха | 32 |
| Экология микробов | 32 |
| Микробиология почвы | 33 |
| Микробиология воздуха | 34 |
| Лекция 8. Микробиология воды. Основные источники бактериального загрязнения воды. Самоочищение воды. | 36 |
| 8.1. Микробиология воды. | 36 |
| 8.2. Основные источники бактериального загрязнения воды. | 38 |
| Лекция 9. Микрофлора водоемов | 41 |
| 9.1 Микрофлора водоёмов | 41 |
| 9.2.Микрофлора вод мирового океана (соленых водоемов) | 48 |
| Лекция 10. Роль микроорганизмов в круговороте органического вещества в водоеме | 53 |
| 10.1 Фотолитотрофы | 53 |
| 10.2 Хемоорганотрофы | 55 |
| 10.3 Круговорот углерода | 56 |
| 10.4 Круговорот азота | 57 |
| Библиографический список | 68 |