

А.Л. Ивчатов

МИКРОБИОЛОГИЯ

УЧЕБНИК XXI ВЕК

Б
А
К
А
Л
А
В
Р



А.Л. Ивчатов

МИКРОБИОЛОГИЯ



Издательство Ассоциации строительных вузов

Москва

2013

УДК 628.16
ББК 28.4
И 25

Рецензенты:

доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой
«Коммунальное и промышленное водопользование»
ФГБОУ ВПО Московской государственной академии коммунального хо-
зяйства и строительства *И.И. Павлинова*;
кандидат технических наук, доцент, заведующий лабораторией обработки
городских, промышленно-дождевых сточных вод и осадка
ОАО «МосводоканалНИИпроект» *Г.П. Варюшина*.

Ивчатов А.Л.

Микробиология: Монография. – М.: Издательство Ассоциации строи-
тельных вузов, 2013. – 120 с.

ISBN 978-5-93093-918-7

В монографии изложены основы морфологии и физиологии микроор-
ганизмов, участвующих в биологических процессах, протекающих в есте-
ственных условиях и на очистных сооружениях систем водоснабжения и
водоотведения. Приведен индикаторный состав микроорганизмов для очи-
стных сооружений и водоемов.

Материал изложен в общем плане и может рассматриваться как основа
для углубления и совершенствования экологического и инженерного обра-
зования на уровне высшей школы.

Монография предназначена для студентов, бакалавров и преподавате-
лей инженерных факультетов (направлений), связанных с очисткой при-
родных и сточных вод.

УДК 628.16
ББК 28.4

ISBN 978-5-93093-918-7

© Ивчатов А.Л., 2013
© Издательство АСВ, 2013

СОДЕРЖАНИЕ

Глава 1. Основы общей микробиологии	5
1.1. Предмет «Микробиология» и его связь с проблемой окружающей среды	5
1.2. Положение микроорганизмов в системе животного мира и принципы их систематизации	7
1.3. Факторы влияния окружающей среды на микроорганизмы	36
1.4. Адаптация микроорганизмов к факторам окружающей среды	43
1.5. Способы культивирования микроорганизмов. Рост и развитие микроорганизмов	45
1.6. Роль микроорганизмов в превращениях и круговороте веществ – круговороты азота, углерода, серы и фосфора.....	49
Глава 2. Санитарная микробиология	53
2.1. Патогенные микроорганизмы и инфекции, передающиеся через воду	53
2.2. Микробиологические показатели санитарной оценки качества воды. Понятие о сапробности водоемов. Зоны сапробности и их характеристика	63
Глава 3. Вредная деятельность микроорганизмов	73
3.1. Эвтрофикация водоемов	73
3.2. Биологические помехи в системах водоснабжения, вызываемые аллохтонными и автохтонными организмами.....	74
3.3. Биологические обрастания в системах оборотного водоснабжения и методы борьбы с ними	75
3.4. Воздействие воды на материалы, микробиологическая коррозия	79
Глава 4. Процессы самоочищения водоемов	89
4.1. Источники и характер загрязнения природных водоемов	89
4.2. Процесс самоочищения водоема и его отдельные компоненты: разбавление, механическая составляющая, химическая, физико-химическая и биохимическая очистка. Роль высшей водной растительности, водных животных, насекомых и микроорганизмов в процессах самоочищения водоемов	89

Глава 5. Роль микроорганизмов в процессах очистки природных и сточных вод	96
5.1. Биохимическое окисление органических веществ в аэробных условиях	96
5.2. Микрофлора и микрофауна активного ила и биологической пленки, их зависимость от состава и свойств очищаемой сточной жидкости	100
5.3. Оценка процесса аэробной биохимической очистки по результатам химико-биологического анализа и индикаторным микроорганизмам	104
5.4. Компостирование осадков сточных вод, твердых бытовых, промышленных и сельскохозяйственных отходов органического происхождения.....	106
5.5. Анаэробные биохимические процессы в очистке сточных вод и обработке осадков	111
5.6. Превращение сложных органических соединений в анаэробных условиях	112
5.7. Метановое брожение – условия процесса и его характеристики. Характеристика микрофлоры анаэробных реакторов.....	114
Список литературы	117

ГЛАВА 1. ОСНОВЫ ОБЩЕЙ МИКРОБИОЛОГИИ

1.1. Предмет «Микробиология» и его связь с проблемой окружающей среды

Микробиология (греч. **Micros** – малый, **bios** – жизнь и **logos** – наука) – наука об организмах, которые невозможно рассмотреть невооруженным глазом. Человеческий глаз не различает деталей организма, размеры которого менее 1 мм, и практически не воспринимает объекты менее 0,1 мм. Таким образом, микробиология изучает живые организмы, размер которых менее 1 мм. К ним относятся вирусы, бактерии, многие грибы и водоросли, простейшие и некоторые многоклеточные животные.

Впервые микроорганизмы были обнаружены в начале XVII в. голландским коммерсантом Антони ван Левенгуком (1632–1723), который в свободное от основной деятельности время увлекался изготовлением увеличительных стекол. Изобретая и совершенствуя микроскопы (с увеличением от 50 до 300) А. Левенгук почти в течение 50 лет, вплоть до самой смерти, посылал отчеты о своих открытиях в Королевское научное общество Англии, членом которого являлся с 1680 г.

Становление микробиологии как науки произошло значительно позднее и связано с именем великого французского ученого Луи Пастера (1822–1895). Им было установлено, что определенные химические процессы, прежде всего различные виды брожения, вызываются специфическими микроорганизмами, четко сформулирована теория микробного происхождения инфекционных заболеваний, опровергнута гипотеза самопроизвольного зарождения микроорганизмов и открыт анаэробизм (жизнь в отсутствие свободного кислорода). Всем известен процесс сохранения продуктов за счет уничтожения в них вредных микроорганизмов однократным нагреванием до температуры 60–70 °С в течение 15–30 мин, который назван в честь ученого – пастеризация. Человечество обязано Пастеру и созданием вакцин – ослабленных культур микроорганизмов, которые помогают предотвратить или вылечить многие инфекционные заболевания. Пастером впервые были изготовлены вакцины против бешенства и сибирской язвы.

Немецкий ученый (сельский врач) Роберт Кох (1843–1910) впервые применил твердые питательные среды для выращивания

чистых культур бактерий, что позволило изучить особенности жизнедеятельности различных видов микроорганизмов.

Большой вклад в развитие микробиологии внесли и российские ученые. Лев Семенович Ценковский (1822–1887) исследовал индивидуальные формы развития низших растений и животных и установил их генетическое родство. Илья Ильич Мечников (1845–1916) основал вместе с Николаем Федоровичем Гамалея (1859–1949) в Одессе первую в России Пастеровскую станцию. Даниил Кириллович Заболотный (1866–1929) – ученый-эпидемиолог – составил основу научной теории борьбы с инфекционными заболеваниями с помощью санитарно-гигиенических, профилактических и лечебных мероприятий. Сергей Николаевич Виноградский (1856–1953) открыл автотрофные бактерии и совместно с Мартинусом Виллем Бейеринком (1851–1931) установил кардинальную роль микроорганизмов в биологических круговоротах таких важнейших элементов, как азот, сера и углерод. Дмитрий Иосифович Ивановский (1864–1920) является основоположником вирусологии, им впервые был открыт вирус. Ученик и соратник С.Н. Виноградского Василий Леонидович Омелянский (1867–1928) первым указал на возможность применения бактерий как химических индикаторов и первым опубликовал в России учебник «Основы микробиологии» (1909).

Исследованием водных объектов с точки зрения санитарной микробиологии и гидробиологии ученые стали заниматься во второй половине XIX столетия. Это было обусловлено ухудшением качества водоемов (особенно рек) в связи с развитием промышленности и транспорта. В 1869–1870 гг. А. Мюллер и Ф. Кон обратили внимание на огромную роль гидробионтов в процессах биологического самоочищения водоемов. В России в 1869 г. президент Общества естествоиспытателей при Казанском университете Н.П. Вагнер предложил организовать исследование «стоячих поверхностных вод в естественно-историческом и гигиеническом отношениях» на двух озерах в черте г. Казани. Предложение было принято, но наблюдение было организовано только на одном озере – Кабан. В 1912 г. в связи загрязнением поверхностных вод центрального промышленного района России сточными водами предприятий легкой промышленности был организован Временный комитет по охране вод от загрязнения сточными водами и отбросами фабрик и заводов. В 1913–1915 гг. появились первые печатные отчеты и работы этого комитета и среди них научно-популярная книга А.П. Артари «Руководящие принципы оценки воды по ее флоре» (1913). В 1916 г. в книге С.И. Златогорова «Учение о микроорганизмах» была опубликована

глава «Биологический анализ воды», написанная С.М. Вислоухом. В этом же комитете началась активная работа двух известных русских исследователей биологических процессов в загрязненных водах Я.Я. Никитинского и Г.И. Долгова.

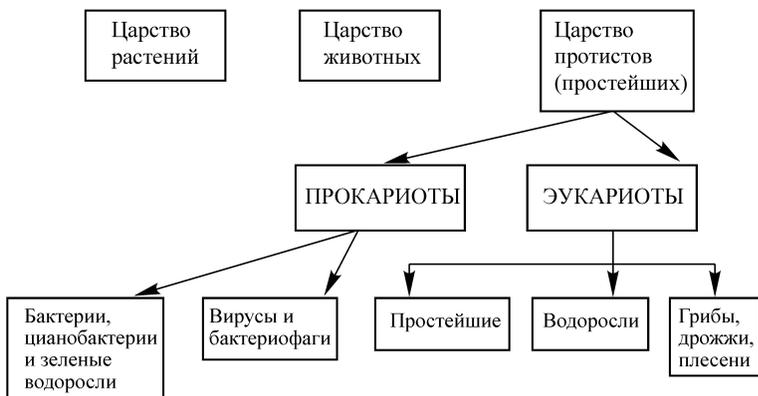
После Октябрьской революции Временный комитет преобразуется в Центральный комитет водоохранения, который продолжил работу в области санитарной гидробиологии, а позднее был преобразован во ВНИИ ВОДГЕО. С 1923 г. большую исследовательскую работу в этой области развернул Санитарный институт Мосздравотдела им. Ф.Ф. Эрисмана: проведенное им в 1928 г. исследование санитарно-гигиенического состояния р. Клязьмы является значительным вкладом в комплексное изучение рек России.

Большой вклад в изучение микроорганизмов и биохимических процессов загрязнения и самоочищения водоемов, процессов очистки природных и сточных вод и обработки осадков внесли следующие зарубежные и отечественные ученые: Р. Кольквитц, М. Марссон, В. Сладечек, Г.И. Долгов, С.Н. Строганов, А.Н. Сысин, С.Н. Черкинский, Н.А. Базякина, П.И. Гвоздяк, М.Н. Ротмистров, Л.Б. Доливо-Добровольский, Л.И. Гюнтер, Ц.И. Роговская, Э.К. Голубовская.

Учитывая то, что в процессах самоочищения водоемов и на сооружениях биологической очистки сточных вод принимают участие не только микроорганизмы, а также сложность самих происходящих процессов, в данном учебнике будут рассмотрены определенные аспекты экологии, гидробиологии, санитарии и гигиены, биотехнологии, биометрии и некоторых других смежных наук.

1.2. Положение микроорганизмов в системе животного мира и принципы их систематизации

Основная единица в систематике микроорганизмов, как и других живых организмов, – вид. Вид объединяет микроорганизмы, имеющие общее происхождение, характеризующиеся общими морфологическими и физиологическими признаками и приспособленные к существованию в определенных условиях окружающей среды. Виды объединяются в группы (таксоны) более высокого ранга – роды, которые, в свою очередь, группируются в семейства, семейства в порядки, а порядки в классы. Высший уровень таксонометрической иерархии – царство (*рис. 1.1*).



**Рис. 1.1. Микроорганизмы в системе живого мира.
Основные принципы их систематики**

ЦАРСТВО—ОТДЕЛ—КЛАСС—ПОРЯДОК—СЕМЕЙСТВО—РОД—ВИД

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

Все микроорганизмы делятся на две группы. Первая – эукариоты, или высшие протисты, клетки которых по своему строению сходны с клетками высших животных и растений, т.е. имеют оболоченное ядро, содержащее заключенную в хромосомах наследственную информацию. Клетки низших протистов – прокариотов не имеют четко сформированного ядра, его заменяют ядроподобные образования – нуклеоиды. К прокариотам относятся бактерии, сине-зеленые водоросли, риккетсии, микоплазмы и др.

СТРОЕНИЕ ПРОКАРИОТИЧЕСКОЙ КЛЕТКИ

Клеточная стенка – имеется два вида клеточной стенки: у грамположительных бактерий она состоит из двух оболочек – мукопептидный слой и мембрана; у грамотрицательных бактерий имеется третья наружная оболочка из липополисахаридов. Клеточная стенка бактерий проницаема. Через нее внутрь клетки поступают питательные вещества и выводятся продукты обмена.

Цитоплазматическая мембрана – прилегает непосредственно к клеточной стенке и является главным осмотическим барьером клетки. Ею регулируется поступление и выброс веществ, водный и солевой обмен. ЦПМ имеет многочисленные выпячивания (инвагинации), внутри них находятся многочисленные пузырьки и каналы, организованные в трубчатые и пластинчатые тилакоиды, бухтообразные и спиралевидные мезосомы. Предполагается, что они выполняют роль митохондрий, эндоплазматического ретикулаума, аппарата Гольджи и т.д. В ЦПМ происходят биохимические превращения, осуществляется синтез некоторых компонентов клеточной стенки и капсулы.

Цитоплазма – внутреннее содержимое клетки, где находятся все жизненно важные структуры и органоиды, на 70–80% цитоплазма состоит из воды. В центральной части цитоплазмы находится ядерное вещество. В цитоплазме могут присутствовать гранулы запасных веществ: крахмал, гликоген, капли жира, сера и т.д.

Ядерное вещество – нуклеоид. В отличие о эукариотической клетки ДНК бактериальной клетки не отделена от цитоплазмы ядерной мембраной.

Капсула – не является обязательной частью бактериальной клетки, выполняет защитную функцию – защищает от механических повреждений, предохраняет от высыхания. Служит препятствием для проникновения фага. Создает дополнительный осмотический барьер.

Жгутики – орган передвижения бактериальной клетки, толщина его от 10 до 20 нм.

Фимбрии и пили – тончайшие ворсинки, покрывающие всю поверхность бактериальной клетки, выполняют прикрепительные функции, удерживая бактериальную клетку на различных поверхностях, способствуют скреплению клеток между собой, выполняют роль защитного фактора.

На *рис. 1.2* представлена схема прокариотической клетки на примере палочковидной бактерии.

СТРОЕНИЕ ЭУКАРИОТИЧЕСКОЙ КЛЕТКИ

Клеточная стенка – прочная эластичная оболочка, отделяет содержимое клетки от внешней среды и регулирует проницаемость клетки. Толщина клеточной стенки от 150 до 280 нм, масса 5–50% по сухому веществу от массы всей клетки. Клеточная стенка много-

слойна, чаще всего 3 слоя, но иногда до 10 слоев. Клеточная стенка имеет поры размером до 3,6 нм, через которые биополимеры с большой молекулярной массой проникают в клетку и выводятся из нее.

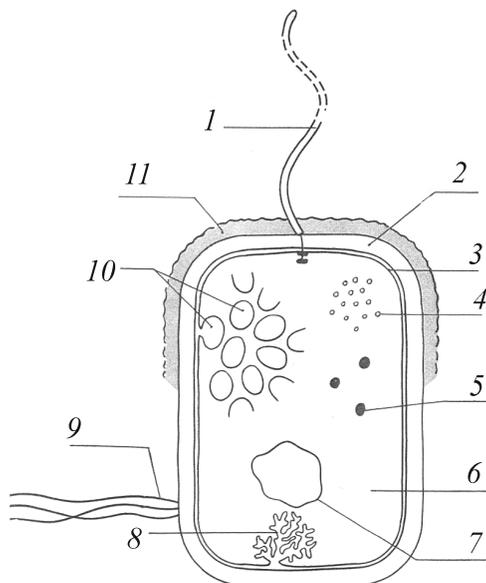


Рис. 1.2. Палочковидная бактерия:

1 – жгутик; 2 – клеточная мембрана; 3 – плазматическая мембрана; 4 – рибосомы; 5 – запасные питательные вещества; 6 – цитоплазма; 7 – кольцевая молекула ДНК; 8 – мезосома; 9 – пили, или фимбрии; 10 – фотосинтетические мембраны; 11 – капсула

Цитоплазматическая мембрана (ЦПМ) – располагается непосредственно за клеточной стенкой, состоит из трех слоев и имеет толщину около 8 нм. Поверхность ЦПМ может быть гладкой или иметь выпячивания (инвагинации). ЦПМ регулирует процесс обмена веществ в клетке, захват углеводов, липидов и белков – пиноцитоз и выброс (экскрецию) в среду продуктов обмена клетки.

Цитоплазма – внутреннее полужидкое, коллоидное содержимое клетки, ограниченное ЦПМ. Цитоплазма клетки находится в движении, что способствует перемещению растворенных в ней веществ от одних органелл к другим. В цитоплазме находятся все клеточные органеллы: эндоплазматический ретикулум, рибосомы, аппарат Гольджи, лизосомы, митохондрии и ядро.

Эндоплазматический ретикулум – мембранная система, имеющая вид пузырьков, канальцев и цистерн и контактирующая с ЦПМ и ядром. Эта система не имеет строго определенного места в клетке и может быть сосредоточена у ЦПМ, в толще цитоплазмы или около ядра. Функция эндоплазматического ретикулума – синтез липидов, накопление и выведение из клетки ядовитых веществ.

Рибосомы – органоиды размерами от 15 до 20 нм, состоящие из нуклеопротеидов и распределенные по всей цитоплазме. Количество рибосом в клетке, которые ответственны за синтез белков, зависит от возраста клетки и среды ее обитания.

Аппарат Гольджи – мембранное образование, состоящее либо из ряда пузырьков различного диаметра (от 15 до 90 нм), либо из пузырьков и нескольких дисковидных пластин. Мембраны в аппарате Гольджи упакованы достаточно плотно, расстояние между ними от 25 до 230 нм. Функции аппарата Гольджи заключаются в синтезе материала для формирования клеточных стенок, является местом образования лизосом, накапливает продукты обмена перед выводом их из клетки.

Лизосомы – представляют собой различные клеточные структуры и образования и выполняют различные функции: запасающие гранулы – содержащие ферменты в неактивной форме; аутофагирующая вакуоль – участвует в переваривании (автолизе) частей самой клетки; пищеварительные гранулы (вакуоли); в случае неполного переваривания материала образуются вторичные лизосомы – остаточные тельца, которые либо накапливаются в клетке, либо подвергаются экскреции.

Вакуоли – производные эндоплазматического ретикулума или аппарата Гольджи – выполняют различные функции: локализация запасных веществ в клетке; накопитель продуктов метаболизма, т.е. непосредственное участие в выделительной функции клетки. Вакуоли отделены от цитоплазмы липопротеидной мембраной, на поверхности которой располагаются ферменты.

Митохондрии – замкнутые клеточные структуры с многочисленными перегородками. Ответственны за энергетический обмен клетки. Митохондрии – самопродуцирующая система, в процессе деления производят самостоятельно (независимо от репликации ядерной ДНК) репликацию митохондриальной ДНК. В митохондриях обнаружен полный комплект системы, синтезирующей белок.

Ядро – важнейшее образование клетки, играет главную роль в передаче наследственной информации, регулирует обмен веществ, отвечает за дифференциацию клетки, за синтез белка, процесс раз-

множения и т.д. Ядро имеет преимущественно округлую форму и отделено от цитоплазмы двумя трехслойными мембранами. Основным составляющим ядра является хроматин, главный компонент которого ДНК; в период перед размножением (митозом) весь хроматин концентрируется в хромосомах – основных хранилищах информации о свойствах клетки.

Морфология – наука, изучающая внешний вид, структуру и форму микроорганизмов.

Размер микроорганизмов

На оптимальном расстоянии (25–30) см человеческий глаз способен различить в виде точки предметы размером не менее 0,07–0,08 мм. К микроорганизмам относятся все живые объекты, размеры которых лежат за пределами видимости невооруженным глазом. Микроорганизмы измеряются в микрометрах (мкм) или нанометрах (нм): $1\text{мм} = 10^3\text{ мкм} = 10^6\text{ нм}$.

Самые крупные микроорганизмы редко превышают размер 100 мкм, но бывают исключения, например – спирохеты до 500 мкм. Мельчайшие микроорганизмы – ультрамикробы имеют размер 0,016–0,26 мкм.

ПРОСТЕЙШИЕ (PROTOZOA)

Общее число видов простейших превышает 40 тыс. Их размеры колеблются от 2–4 мкм до 2 мм и зависят от видовой принадлежности и физического состояния. Большинство простейших имеют скелетные образования в виде тонкой эластичной оболочки – пелликулы, позволяющей микроорганизму изгибать свое тело, дальнейшее уплотнение пелликулы приводит к образованию очень плотной оболочки – кутикулы, которая обеспечивает постоянство формы клетки. Некоторые простейшие имеют студенистое строение оболочки, скелет других представляет раковинки.

В биоценозе очистных сооружений наиболее часто встречаются *Rhizopoda*, *Flagellata*, *Ciliata*, *Suctoria*.

Класс Sarkodina (Саркодовые)

Отличительная особенность саркодовых заключается в том, что органеллами движения и захвата пищи служат временные выросты цитоплазмы – псевдоподии (ложноножки) в виде лопастей, нитей или лучей. Некоторые саркодовые имеют органоиды движения в

Научное издание

Александр Леонидович **Ивчатов**

МИКРОБИОЛОГИЯ

Компьютерная верстка: *Е.В. Орлов*

Редактор: *В.Ш. Мерзлякова*

Дизайн обложки: *Н.С. Романова*

Лицензия ЛР № 0716188 от 01.04.98.

Подписано к печати 10.01.13. Формат 60x90/16.

Бумага офсетная. Гарнитура Таймс.

Усл. 7,5 п.л. Тираж 500 экз. Заказ №

Издательство Ассоциации строительных вузов (АСВ)
129337, Москва, Ярославское шоссе, 26, отдел реализации – оф. 511
тел., факс: (499)183-56-83, e-mail: iasv@mgsu.ru, <http://www.iasv.ru/>