

*Микробиологические
методы
очистки воды
Лекция 2*

Мир бактерий и бактериология

Бактерии (от греч. bacterion - палочка) - это наиболее широко распространенная в природе группа микроорганизмов, представляющих собой большой и чрезвычайно разнообразный мир микроскопических существ.

К настоящему времени описано около 10000 видов бактерий, но предполагается, что их существует свыше миллиона.

Впервые бактерий увидел в оптический микроскоп и описал в 1676 году голландский натуралист Антоний ван Левенгук. Как и всех микроскопических существ, он назвал их «анималькули».

Название «бактерии» ввёл в употребление в 1828 году Христиан Эренберг.

Прокариоты - организмы, клетки которых не имеют ограниченного мембраной ядра. К ним относятся все бактерии, включая архебактерий и циано-бактерий. Аналог ядра прокариотов представляет собой структуру, состоящую из ДНК, белков и РНК.

До конца 1970-х годов термин «бактерия» был синонимом прокариотов (клетки, не имеющие оформленного ядра), но в 1977 году, на основании данных молекулярной биологии, прокариоты были разделены на архебактерии (бактерии с дефектной клеточной стенкой) и эубактерии (настоящие бактерии).

Впоследствии, чтобы подчеркнуть различия между ними, они были переименованы в археи и бактерии. Хотя до сих пор под бактериями часто понимают всех прокариотов.

Особенности систематики и номенклатуры микроорганизмов

Систематика - распределение микроорганизмов в соответствии с их происхождением и биологическим сходством.

Таксоны – это упорядоченные группы микроорганизмов, объединенные по однородным свойствам.

Систематика занимается всесторонним описанием видов микроорганизмов, выяснением степени родственных отношений между ними и объединением их в различные по уровню родства классификационные единицы - таксоны.

Основные цели систематики микроорганизмов:

- 1) наименование микроорганизма, в т.ч. описание таксонов;*
- 2) определение места микроорганизма в системе;*
- 3) экстраполяция, т.е. предсказание признаков микроорганизма, основывающееся на том, что он относится к тому или иному таксону.*

Например, если на основании тинкториальных свойств бактерии, мы отнесли ее к грамположительным микроорганизмам, то мы можем предположить, что такая бактерия имеет толстую клеточную стенку и относится к отделу фирмикутов (жесткие).

Другими словами, основная цель систематики - идентифицировать микроорганизм.

Особенности систематики и номенклатуры микроорганизмов



Систематика микроорганизмов предполагает, что:

окружающее нас разнообразие микроорганизмов имеет определённую внутреннюю структуру;

эта структура организована иерархически, т.е. разные таксоны последовательно подчинены друг другу;

эта структура познаваема до конца, а значит, возможно построение полной и всеобъемлющей системы микромира.

Таксономия – (от греч. - строй, порядок, закон) – это учение о принципах и практике классификации и систематизации.

Каждый таксон должен иметь определённый ранг, то есть относиться к какой-либо таксономической категории.

Этот принцип построения системы получил название Линнеевской иерархии, по имени шведского натуралиста Карла Линнея, труды которого были положены в основу традиции современной научной систематики.

Особенности систематики и номенклатуры микроорганизмов

Классификация микроорганизмов (корневой таксон) – это распределение микроорганизмов по сходным или отличительным признакам в упорядоченные группы. *Классификация микроорганизмов является одним из наиболее трудных разделов микробиологии. Чем полнее наши сведения об организмах, тем точнее мы их классифицируем.*

Современная классификация микроорганизмов построена по иерархическому принципу.

Различные уровни иерархии (таксономические категории, ряды, ранги) **имеют собственные названия** (от высших к низшим): **царство, отдел, класс, порядок, семейство, род, вид.**

Принято, что любой конкретный микроорганизм должен последовательно принадлежать ко всем 7 категориям.



Особенности систематики и номенклатуры микроорганизмов

Царство (лат. regnum) – это иерархическая ступень научной классификации микроорганизмов, таксон самого высокого уровня среди основных.

Исторически выделяют пять царств живых организмов:

животные;

растения;

грибы;

бактерии;

вирусы.

С 1977 года к ним присоединены ещё два царства:

протисты;

археи.

С 1998 выделяют ещё одно:

хромисты.



Современная классификация живой природы по Кавалье-Смиту

Современная классификация живой природы по Кавалье-Смиту (1998) делит ее на 2 домена и 7 царств:

ДОМЕН	ЦАРСТВО
Эукариоты	Животные
	Грибы
	Растения
	Хромисты (содержат хлоропласт)
	Протисты (простейшие)
Прокариоты	Эубактерии (собственно бактерии)
	Археи (бактерии-экстремалы)

Особенности систематики и номенклатуры микроорганизмов

Отдел (лат. *divisio*) - один из высших рангов таксономической иерархии в микробиологии. В иерархии таксономических категорий отдел находится выше класса и ниже царства.

Названия отделов, как и названия других таксонов, ранг которых выше рода, являются униномиальными, то есть состоят из одного слова – существительного, или прилагательного, используемого как существительное, во множественном числе, написанного с заглавной буквы.

Класс (лат. *classis*) — один из основных рангов иерархической классификации в биологической систематике. В иерархии систематических категорий класс стоит ниже отдела и выше порядка.

Названия классов, как и названия других таксонов, ранг которых выше рода, являются униномиальными.

Порядок (лат. *ordo*) - один из основных рангов иерархической классификации. В иерархии систематических категорий стоит ниже класса и выше семейства.

В бактериологии для названия порядков используется стандартизированное окончание –ales.

Карл Линней высказал мнение, что «порядок есть подразделение классов, вводимое для того, чтобы не разграничивать роды в числе большем, чем их легко может воспринять разум».

Семейство (лат. *familia*) - один из основных рангов иерархической классификации в биологической систематике. В иерархии систематических категорий семейство стоит ниже порядка и выше рода.

Названия семейств образуются по правилам, регулируемым международным кодексом номенклатуры бактерий. Название семейства образуется от названия типового рода, к основе которого добавляется стандартное окончание -aceae.

Особенности систематики и номенклатуры микроорганизмов

***Вид** (лат. species) - таксономическая, систематическая единица, группа особей с общими морфофизиологическими, биохимическими и поведенческими признаками, способная к взаимному скрещиванию, дающему в ряду поколений плодовитое потомство, закономерно распространённая в пределах определённого ареала и сходно изменяющаяся под влиянием факторов внешней среды.*

Вид - реально существующая единица живого мира, основная структурная единица в системе организмов. В классификации микроорганизмов проблема вида является самой важной и трудной. Без определения вида нельзя строить классификацию.

Вид - совокупность микроорганизмов, имеющих единое происхождение и генотип, сходные морфологические и биологические свойства.

Вид у бактерий определяется суммой разнообразных признаков и свойств и представляет собой продукт эволюции живой материи, имеющий свою историю развития, формирования и стабилизации в результате приспособления к условиям существования.

***Чистая культура** - совокупность однородных микроорганизмов, выделенных на питательной среде, для которых характерно сходство биологических свойств.*

***Штамм** - чистая культура микроорганизма, выделенная из определенного источника, и отличающаяся от других представителей вида.*

***Клон** - совокупность потомков, выращенных из единственной микробной клетки.*

В современных классификациях используют любой признак, лишь бы он выделялся и давал возможность распознать изучаемый микроорганизм.

Особенности систематики и номенклатуры микроорганизмов

Идентификация микроорганизмов - определение видовой принадлежности выделенных микроорганизмов путем изучения и сравнения их основных биологических свойств с признаками, описанными в литературе (справочники, определитель Берги (Берджи) - широко известный справочник по микробиологии, подготовленный и регулярно переиздаваемый международным коллективом авторов).

Номенклатура микроорганизмов - присвоение упорядоченным группам микроорганизмов научных наименований.

Пример систематики патогенной лептоспиры:

Царство - Procariotae

Отдел - Gracilicutes

Класс - Scotobacteria

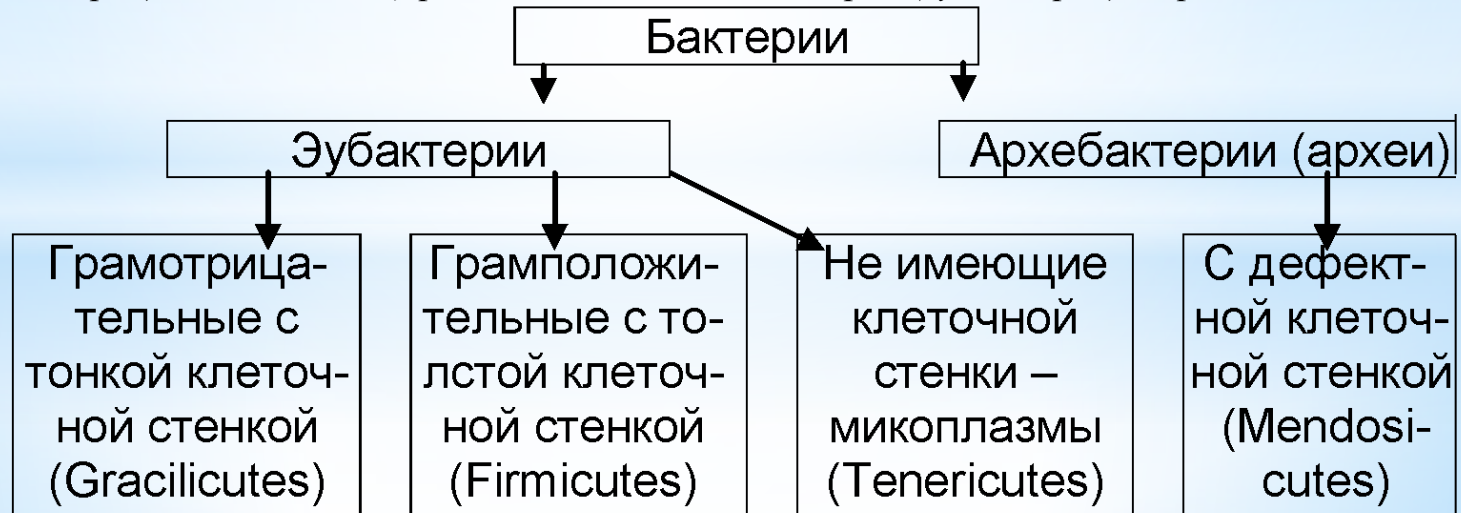
Порядок - Spirochetales

Семейство - Leptospiraceae

Род - Leptospira

Вид - Leptospira interrogans

Прокариоты (бактерии) делятся на 2 царства – собственно бактерии (эубактерии) и археи.



Морфология бактерий

подавляющее большинство бактерий (за исключением актиномицентов и нитчатых цианобактерий) одноклеточны и размножаются поперечным делением.

Бактерии имеют разнообразную форму и размеры. В природе наиболее широко распространены тонкостенные грамотрицательные и толстостенные грамположительные бактерии.

ТОНКОСТЕННЫЕ, ГРАМОТРИЦАТЕЛЬНЫЕ БАКТЕРИИ		ТОЛСТОСТЕННЫЕ, ГРАМПОЛОЖИТЕЛЬНЫЕ БАКТЕРИИ	
Менингококки		Пневмококки	
Гонokokки		Стрептококки	
Вейлонеллы		Стафилококки	
Палочки		Палочки	
Вибрионы		Бациллы*	
Кампилобактерии, Хеликобактерии		Клоостридии*	
Спириллы		Коринебактерии	
Спирохеты		Микобактерии	
Риккетсии		Бифидобактерии	
Хламидии		Актиномицеты	

*Расположение спор: 1 – центральное, 2 – субтерминальное, 3 – терминальное.

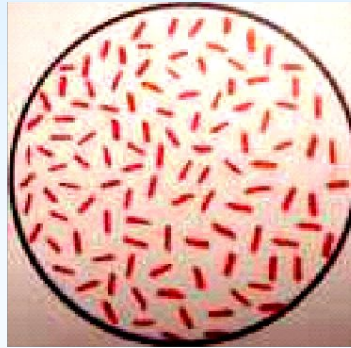
Морфология бактерий

По внешнему виду среди бактерий различают шарообразные формы (кокки), извитые формы и палочки.



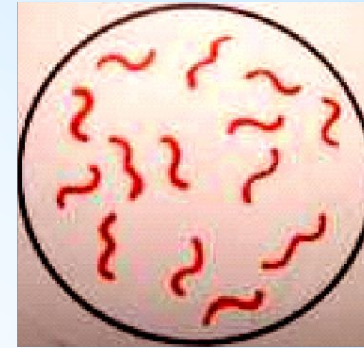
КОККИ

Монококки
Диплококки
Стрептококки
Тетракокки
Стафилококки
Сарцины



ПАЛОЧКИ

Бактерии
Бациллы
Клостридии







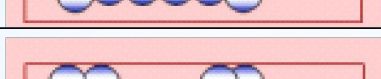

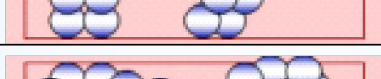


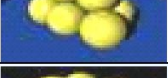


ИЗВИТЫЕ

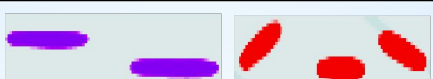





Вибрионы
Спириллы
Спирохеты

Морфология бактерий

Монококки представляют собой одиночно расположенные шаровидные (кокковидные) бактерии, диплококки – соединенные вместе 2 бактерии, стрептококки – цепочка шаровидных бактерий, тетракокки – 4 соединенные вместе шаровидные бактерии, стафилококки – шаровидные бактерии, соединенные в виде грозди винограда, сарцины – кокки, уложенные в виде квадратных тюков.






1. Монококки		
2. Диплококки		
3. Стрептококки		
4. Тетракокки		
5. Стафилококки		
6. Сарцины		

Палочковидные формы представлены бактериями, не образующими спор; бациллами – аэробными бактериями, образующими споры, диаметр которых равен толщине бактерии; клостридиями – анаэробными бактериями, образующими споры, диаметр которых больше толщины бактерий.

1. Бактерии		
2. Бациллы		
3. Клостридии		

Морфология бактерий

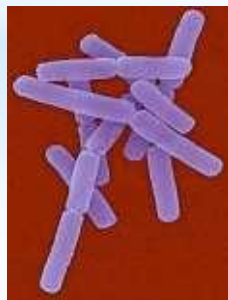
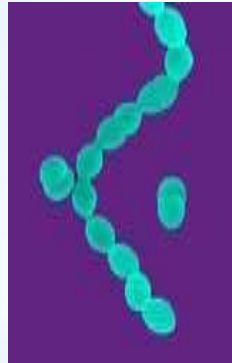
Извитые формы представлены вибрионами – изогнутыми бактериями; спириллами – спиралевидными бактериями; спирохетами – бактериями, изогнутыми и закрученными в виде локона.

1. Вибрионы		
2. Спириллы		
3. Спирохеты		

Размеры бактерий варьируют в широких пределах.

- 1. Очень мелкие - до 0,1 мкм (микоплазмы, хламидии).*
- 2. Мелкие - до 1,5 мкм (бруцеллы, стрептококки).*
- 3. Средние - до 3,0 мкм (пастереллы, сальмонеллы).*
- 4. Крупные - до 10,0 мкм (бациллы, клостридии).*

Формы бактерий



Строение бактериальной клетки

Строение бактериальной клетки характеризуется простотой, т.к. бактерии не имеют собственной энергетической системы и все питательные вещества и энергию получают из окружающей среды.



Схематическое изображение строения бактериальной клетки

Строение бактериальной клетки

Структурные компоненты бактериальной клетки делятся на обязательные (жизненно необходимые) и необязательные.

Обязательными структурными компонентами являются:

клеточная стенка;

цитоплазматическая мембрана;

цитоплазма;

рибосомы;

нуклеотид (ДНК).

Необязательные структурные компоненты:

капсула;

включения;

жгутики;

пили;

плазмиды;

споры.

Клеточная стенка бактерий

Функции клеточной стенки состоят в том, что она:

является осмотическим барьером;

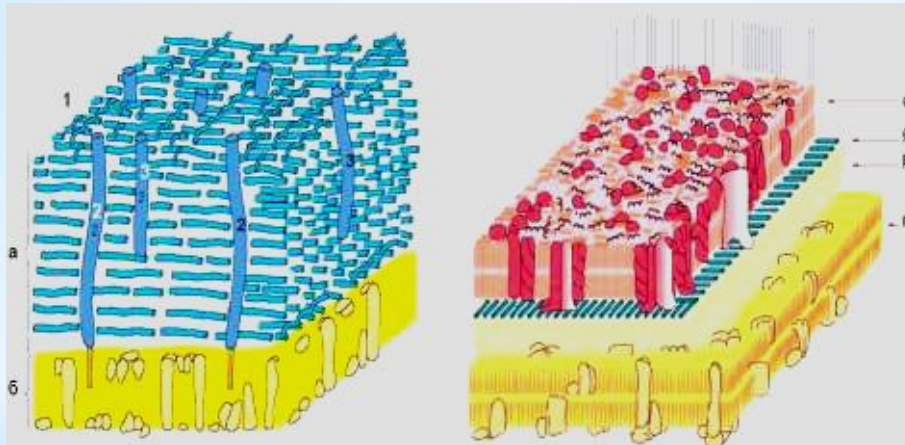
определяет форму бактериальной клетки;

защищает клетку от воздействий окружающей среды;

несет разнообразные рецепторы, способствующие прикреплению бактериофагов, макрофагов, фагоцитов, антител, а также различных химических соединений;

через клеточную стенку в клетку поступают питательные вещества и выделяются продукты обмена;

в клеточной стенке локализован О-антиген и с ней связан эндотоксин (липид А) бактерий.



**Схема строения клеточной
стенки грамположительных
бактерий**

- а - клеточная стенка;
- б - цитоплазматическая мембрана;
- 1 - пептидогликан (муреин);
- 2 - липотейхоевые кислоты;
- 3 - тейхоевые кислоты.

**Схема строения клеточной
стенки грамотрицательных
бактерий**

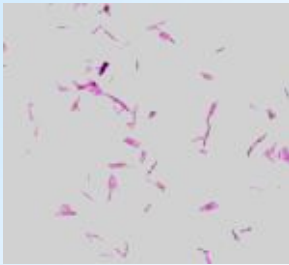
- а - наружная оболочка (липополисахариды);
- б – пептидогликан (муреин);
- в – периплазма;
- г - цитоплазматическая мембрана.

Клеточная стенка бактерий

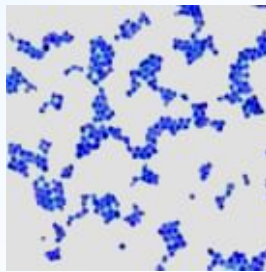
У бактерий имеется 2 типа строения клеточной стенки. В обоих случаях ее основу составляет пептидогликан - муреин.

У одних бактерий (1-й тип) он составляет до 90 % массы клеточной стенки и образует многослойный (до 10 слоев) каркас, при этом муреин ковалентно связан с тейхоевыми кислотами. Такие бактерии при окраске по методу Грама прочно удерживают комплекс генцианового фиолетового и йода, окрашиваются в сине-фиолетовый цвет и называются грамположительными.

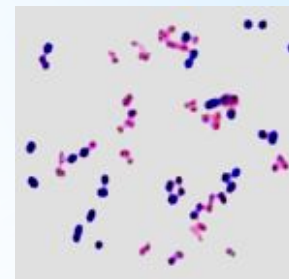
У бактерий со 2-м типом строения клеточной стенки поверх 2-3 слоев пептидогликана муреина располагается слой липополисахаридов. Эти бактерии при окраске по методу Грама не способны прочно удерживать комплекс генцианового фиолетового и йода и, соответственно, обесцвечиваются спиртом, прокрашиваясь дополнительным красителем - фуксином в розово-красный цвет. Они называются грамотрицательными.



а)



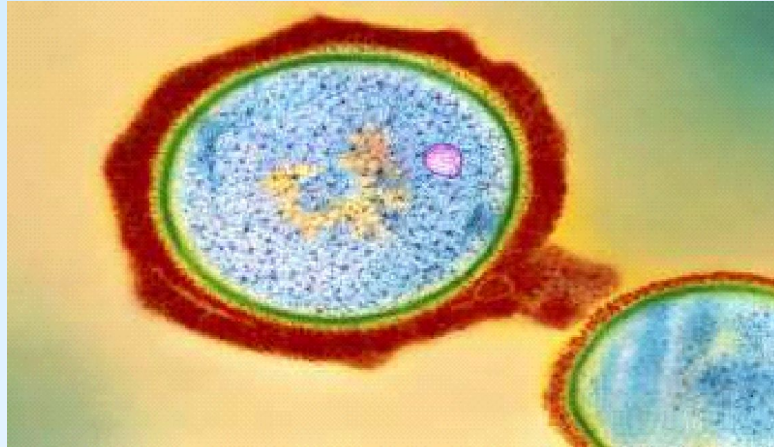
б)



в)

Грамотрицательные палочки (а), грамположительные кокки (б), смесь грамположительных и грамотрицательных бактерий

Клеточная стенка бактерий



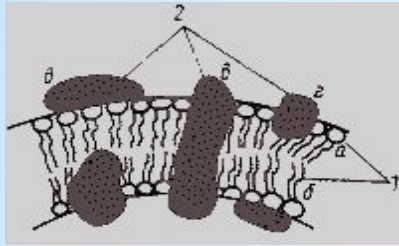
Грамположительная и грамотрицательная бактерии

В связи с различиями в строении клеточной стенки все бактерии делятся на 4 отдела:

- грациликоты - бактерии с тонкой клеточной стенкой, грамотрицательные (к ним относятся различные извитые, палочковидные, кокковые формы бактерий, а также риккетсии и хламидии);*
- фирмикуты - бактерии с толстой клеточной стенкой, грамположительные (к ним относятся палочковидные, кокковые формы бактерий, а также актиномицеты, коринебактерии и микобактерии);*
- тенирикуты – бактерии без клеточной стенки, имеющие трехслойную цитоплазматическую мембрану (микоплазмы);*
- мендозикоты – археи (экстремальные бактерии), отличающиеся дефектной клеточной стенкой, особенностями строения рибосом, мембран и рибосомальных РНК. Эта группа бактерий не обладает патогенными свойствами.*

Строение цитоплазматической мембраны бактерий

К клеточной стенке бактерий примыкает цитоплазматическая мембрана, строение которой аналогично мембранам эукариотов (состоит из двойного слоя липидов, главным образом фосфолипидов, со встроенными поверхностными и интегральными белками).



1 - молекулы липидов:

а – гидрофильная "голова";

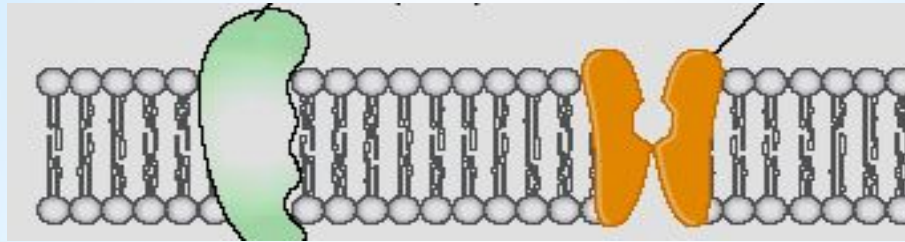
б - гидрофобный "хвост";

2 - молекулы белков:

в – интегральная;

г – периферическая;

д - поверхностная



Строение цитоплазматической мембраны бактерий

Цитоплазматическая мембрана (ЦПМ) обеспечивает:

- селективную проницаемость и транспорт растворимых веществ в клетку;
- транспорт электронов и окислительное фосфорилирование;
- выделение гидролитических экзоферментов;
- биосинтез различных полимеров.

ЦПМ отделяет цитоплазму от клеточной стенки, служит осмотическим барьером клетки, регулирует транспорт веществ. Нередко она образует впячивания - мезосомы.

С ЦПМ и её производными связан также биосинтез клеточной стенки, спорообразование и т.д. К ней прикреплены жгутики, геномная (хромосомная) ДНК.

Цитоплазматическая мембрана ограничивает цитоплазму бактерий, которая представляет собой гранулярную структуру. В цитоплазме локализованы рибосомы и бактериальный нуклеоид, в ней также могут находиться включения и плазмиды (внехромосомная ДНК).

Бактерии, образующие капсулу

Капсула бактерий - это утолщенный наружный слой клеточной стенки, представляющий собой слизистое образование.



Бактерии, образующие капсулу

Основные свойства капсулы бактерии:

различима в мазках-отпечатках и при специальных методах окраски;

гидрофильна;

предохраняет бактерию от фагоцитоза, бактериофагов, антибиотиков и др. неблагоприятных факторов;

источник запаса питательных веществ для бактерий;

препятствует высыханию бактерии.

Основное предназначение капсул - защита бактерий от фагоцитоза.

Капсулы могут быть состоять из полисахаридов (пневмококки) или белков (возбудитель сибирской язвы).

Большинство бактерий, особенно патогенных, образует капсулу только в организме человека или животных.

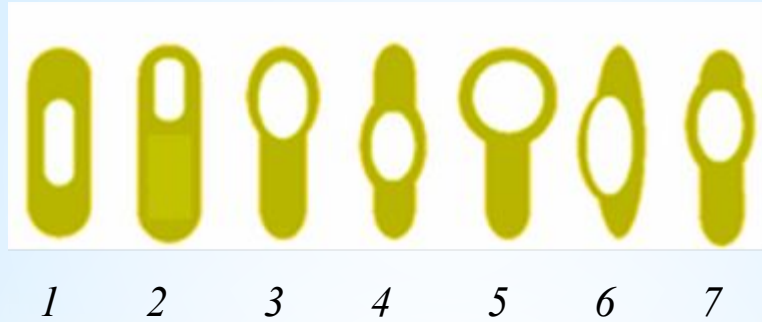
*Однако существует род истинно капсульных бактерий (*Klebsiella*), представители которого образуют капсулу и при культивировании на искусственных питательных средах.*

Некоторые бактерии могут образовывать микрокапсулу (выявляется только при электронной микроскопии), например, эшерихии, микобактерии.

Споры бактерий

Споры бактерий представляют собой бактериальные клетки в состоянии анабиоза и образуются при неблагоприятных условиях внешней среды.

Споры располагаются внутри бактериальной клетки терминально, субтерминально, центрально, иногда латерально.



Расположение спор:

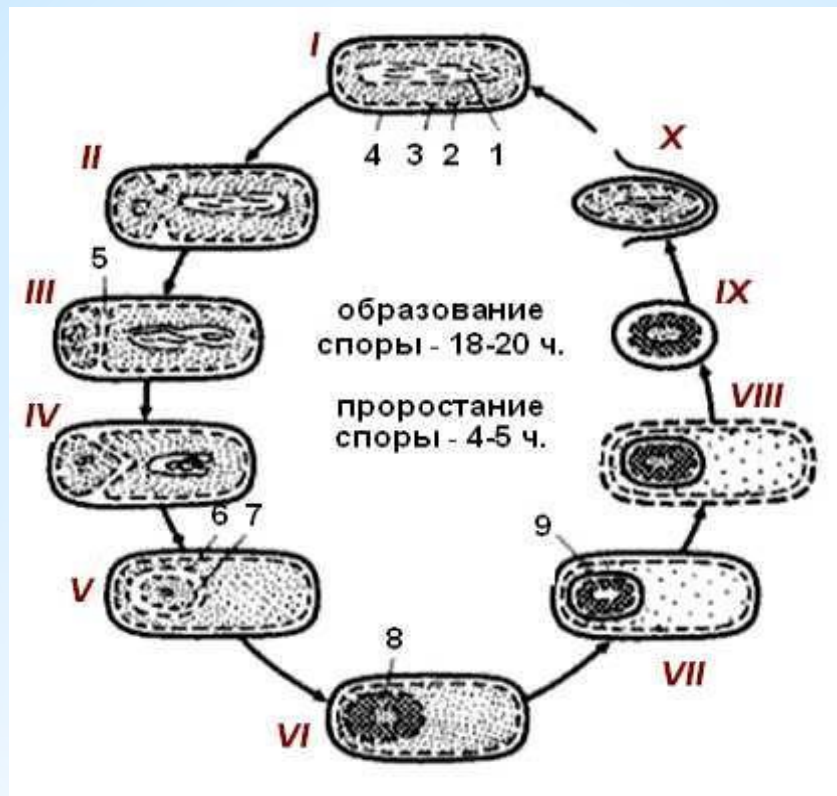
1, 4 – центральное; 2, 3, 5 – терминальное; 6 – латеральное; 7 – субтерминальное

В процессе спорообразования бактериальная клетка почти полностью теряет воду, сморщивается, клеточная стенка уплотняется. Появляется новое вещество - дипиколинат кальция, которое образует комплексы с биополимерами клетки, устойчивые к действию температуры и ультрафиолетовых лучей.

В окружающей среде споры бактерий могут сохраняться годами, но при попадании в благоприятные условия спора впитывает влагу, комплексы распадаются, дипиколинат разрушается, и спора превращается в вегетативную (способную размножаться) клетку. Бактерии в споровой форме не размножаются.

Поэтому, спору следует рассматривать не как способ размножения, а только как форму существования бактериальной клетки в неблагоприятных условиях.

Этапы спорообразования у бацилл



Этапы спорообразования у бацилл

I - вегетативная клетка; *II* - инвагинация ЦПМ; *III* - образование споровой перегородки (септы); *IV* - формирование двойной мембранной системы образующейся проспоры; *V* - сформированная проспора; *VI* - формирование кортекса; *VII* - формирование покровов споры; *VIII* - лизис материнской клетки; *IX* - свободная зрелая спора; *X* - прорастание споры.

1 - нуклеоид; *2* - цитоплазма; *3* - ЦПМ; *4* - клеточная стенка; *5* - споровая перегородка; *6* - наружная мембрана споры; *7* - внутренняя мембрана споры; *8* - кортекс; *9* - покровы споры.

Жгутики бактерий

Многие бактерии имеют жгутики.

Характеристика жгутиков:

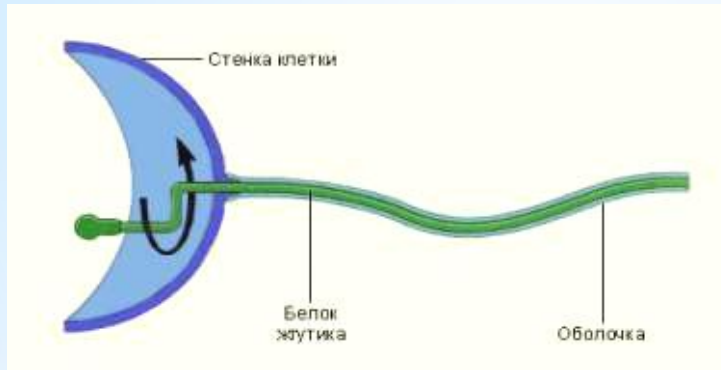
органомы движения (скользящее, плавающее) бактерий;

способность прикрепляться к поверхностям;

белковая природа;

тонкие, длинные;

состоят из спиральной нити, крюка и базального тельца.



По своему строению жгутики представляют собой спирально закрученные нити, состоящие из специфического белка флагеллина, который по своей структуре относится к сократительным белкам типа миозина.

Количество и расположение жгутиков у разных бактерий неодинаково, в связи с чем бактерии подразделяются на 4 группы:

1. Монотрихии.
2. Лофотрихии.
3. Амфитрихии.
4. Перитрихии.

Монотрихии имеют только один жгутик (род *Vibrio*), лофотрихии - пучок жгутиков на одном полюсе клетки (род *Pseudomonas*), у амфитрихов жгутики (один или пучок) расположены на обоих полюсах клетки (род *Spirillum*), у перитрихов жгутики расположены по всей поверхности клетки (род *Escherichia*, *Salmonella*).

Жгутики бактерий



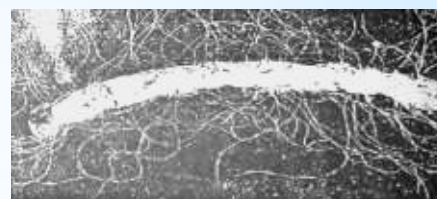
Монотрихии



Амфитрихии



Лофотрихии



Перитрихии



Расположение жгутиков у бактерий

Ворсинки бактерий

На поверхности ряда бактерий обнаружены белковые образования – ворсинки (фимбрии, пили, микроворсинки).

Характеристика ворсинок:

прямые белковые цилиндры;

слипание бактерий между собой;

прикрепление бактерий к поверхностям;

адгезия (прилипание к эукариотам);

транспорт метаболитов;

агглютинация эритроцитов;

половые *sex*-пили для конъюгации.



Ворсинки у бактерий

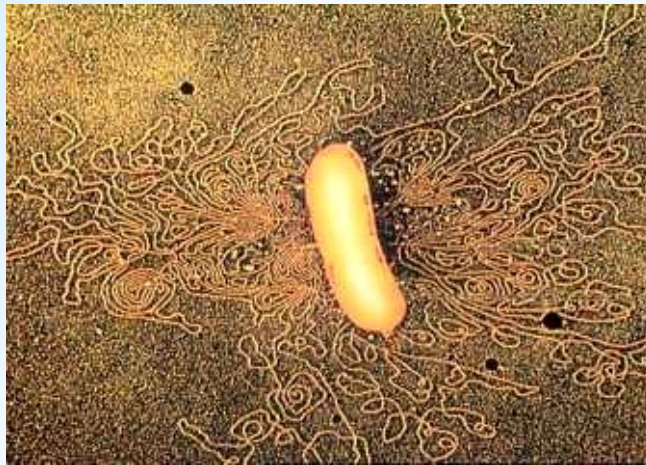
Ворсинки отходят от поверхности клетки и состоят из белка, называемого пилином.

Различают более 60 видов ворсинок, из которых наиболее изучены *F-pili* (половые пили) и *common pili* (пили, ответственные за адгезию).

Хромосомная ДНК бактерий

Основу наследственного аппарата бактерий, как и всех других организмов, составляет ДНК (нуклеоид, хромосомная ДНК).

ДНК бактерии представлена кольцевой двунитовой молекулой, длиной около 1 мм, которая свободно располагается в цитоплазме в центральной зоне клетки, прикрепившись в одной точке к цитоплазматической мембране.



Хромосомная ДНК, выделенная из бактерии

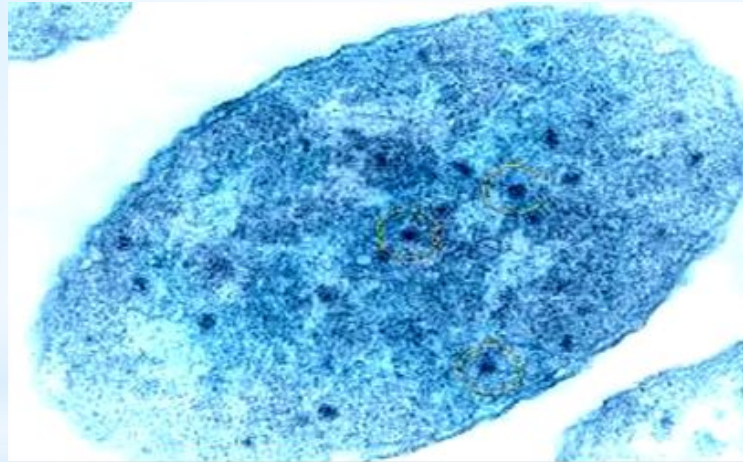
При делении бактериальной клетки ДНК удваивается сразу целиком, поэтому бактерии - гаплоидные организмы, т.е. они имеют 1 хромосому. В связи с этим при наследовании признаков отсутствует явление доминантности.

Хромосомную ДНК бактерий можно наблюдать в электронный или фазово-контрастный микроскоп, где она выглядит как менее плотный участок цитоплазмы.

Плазмиды бактерий

Плазида – это внехромосомный фактор наследственности бактерий, представляющий собой кольцевую цитоплазматическую молекулу ДНК, в которой закодирована информация о 2-5 свойствах бактериальной клетки. Плазмиды имеются только у бактерий и содержат структурные гены, наделяющие бактериальную клетку важными для нее свойствами:

- R-плазмиды - лекарственной устойчивостью;
- Col-плазмиды - способностью синтезировать колицины;
- F-плазмиды - передавать генетическую информацию;
- Шу-плазмиды - синтезировать гемолизин;
- Тох-плазмиды - синтезировать токсин;
- плазмиды биodeградации - разрушать тот или иной субстрат и т. д.



Плазмиды внутри бактериальной клетки

Плазмиды могут встраиваться в хромосомную ДНК в строго определенные участки, а могут существовать автономно. В этом случае они обладают способностью к удвоению, поэтому в клетке может быть 2, 4, 8 и более копий такой плазмиды.

Многие плазмиды способны передаваться от одной клетки к другой при конъюгации (обмене генетической информацией).

Сходства и отличия в строении эукариотов и прокариотов

Бактерии – наиболее просто устроенные клетки, которые не содержат многих структурных элементов и органелл, свойственных эукариотам.

Отличия прокариот от эукариот

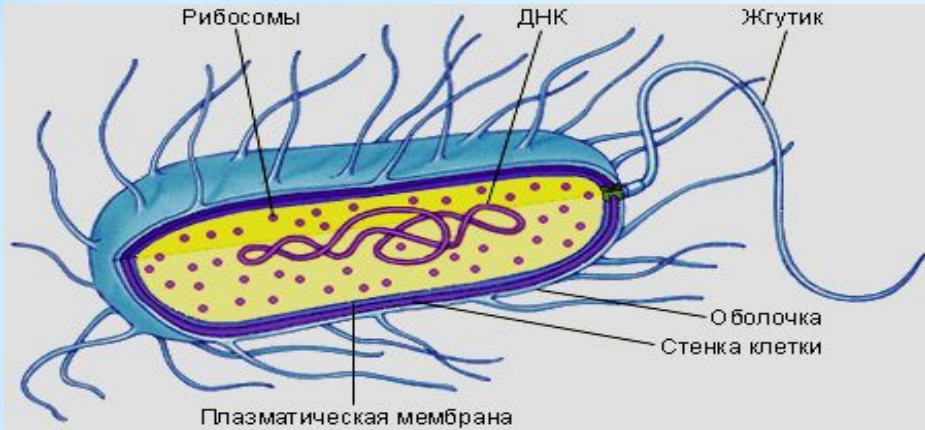
Структуры и организация клеток	Клетки-эукариоты		Прокариоты (бактерии)
	животные	растения	
Ядро	+	+	-
Количество хромосом	разное	разное	1
Комплекс Гольджи	+	+	-
Эндоплазматическая сеть	+	+	-
Лизосомы	+	-	-
Митохондрии	+	+	-
Цитоскелет	+	+	-
Пептидогликан	-	-	±
Клеточная стенка	-	+	±
Нуклеолема	+	+	-
Ядрышки	+	+	-
Митоз	+	+	-
Фагоцитоз	+	-	-
Амебовидное движение	+	-	-
Споры для размножения	-	+	-
Споры для сохранения вида	-	+	+

Общими структурными компонентами бактерий и эукариот являются хромосомная ДНК, цитоплазматическая мембрана, цитоплазма, рибосомы.

Одной из отличительных особенностей бактерий является то, что они способны синтезировать разнообразные ферменты, необходимые им для утилизации питательных субстратов и приспособления к неблагоприятным факторам окружающей среды.

Микробиологические методы очистки воды

Строение эукариотов и прокариотов

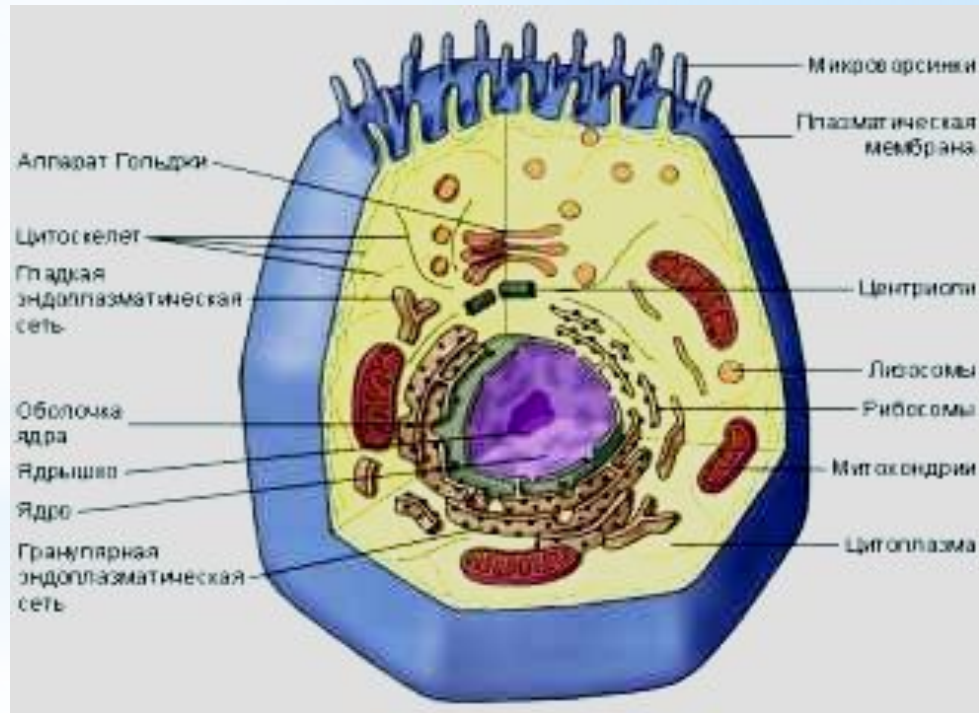


Строение прокариота

Микроорганизмы – прокариоты - это уникальные биологические системы, широко распространенные в природе, имеющие сходства и различия с клетками животных и растений.

Несмотря на относительно простые организацию и строение, бактериальная клетка является исключительно адаптивной к условиям внешней среды и занимает определенную экологическую нишу.

В ходе развития популяции микроорганизмов их клетки непрерывно претерпевают не только количественные, но и качественные изменения, определяющие уникальные свойства бактерий к выживанию во внешней среде.



Строение эукариота