

**Е. А. Павлова  
Н. К. Удовенко**

**ПРОМЫШЛЕННАЯ МИКРОБИОЛОГИЯ  
И БИОТЕХНОЛОГИЯ  
В УПАКОВОЧНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ**

**ОСНОВЫ ПРОМЫШЛЕННОЙ МИКРОБИОЛОГИИ**

**Часть 1**

**Текст лекций**

**Санкт-Петербург  
2022**

**Министерство науки и высшего образования Российской Федерации**  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
**«Санкт-Петербургский государственный университет  
промышленных технологий и дизайна»**  
**Высшая школа технологии и энергетики**  
**Кафедра технологии целлюлозы и композиционных материалов**

# **ПРОМЫШЛЕННАЯ МИКРОБИОЛОГИЯ И БИОТЕХНОЛОГИЯ В УПАКОВОЧНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ**

## **ОСНОВЫ ПРОМЫШЛЕННОЙ МИКРОБИОЛОГИИ**

### **Часть 1**

Текст лекций для студентов очной формы обучения  
по направлению подготовки

29.03.03 – Технология полиграфического и упаковочного производства

Составители:  
Е. А. Павлова  
Н. К. Удовенко

Санкт-Петербург  
2022

Утверждено  
на заседании кафедры ТЦКМ  
06.12.2021 г., протокол № 4

Рецензенты:  
М. Л. Доморощенко,  
И. В. Антонов

Текст лекций соответствует программе и учебному плану дисциплины «Промышленная микробиология и биотехнология в упаковочном производстве» для студентов, обучающихся по направлению подготовки 29.03.03 «Технология полиграфического и упаковочного производства». Текст лекций охватывает весь материал по дисциплине. Издание предназначено для самостоятельной работы студентов.

Текст лекций предназначен для бакалавров очной формы обучения.

Утверждено Редакционно-издательским советом ВШТЭ СПбГУПТД  
в качестве текстов лекций

Редактор и корректор А. А. Чернышева  
Техн. редактор Д. А. Романова

Темплан 2021 г., поз. 5222

---

Подписано к печати 22.02.2022.	Формат 60x84/16.	Бумага тип № 1.
Печать офсетная.	Печ. л. 2.	Уч.-изд. л. 2.
Тираж 20 экз.	Изд. № 5222.	Цена «С».
		Заказ №

---

Ризограф Высшей школы технологии и энергетики СПбГУПТД,  
198095, Санкт-Петербург, ул. Ивана Черных, 4.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ.....	4
1. ВВЕДЕНИЕ В БИОТЕХНОЛОГИЮ .....	5
1.1. Основные компоненты биотехнологического процесса .....	8
1.2. Критерии оценки биотехнологических процессов.....	9
2. ОСНОВЫ МИКРОБИОЛОГИИ .....	10
2.1. Биологические агенты .....	12
2.1.1. Клетки животных и растений .....	12
2.2. Бактерии.....	21
2.2.1. Виды классификации бактерий .....	22
2.2.2. Строение бактериальной клетки.....	25
2.3. Грибы .....	26
2.3.1. Плесневые грибы и дрожжи.....	29
2.3.2. Классификация дрожжевых организмов .....	30
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....	32

## ПРЕДИСЛОВИЕ

Курс «Промышленная микробиология и биотехнология в упаковочном производстве» является специальной дисциплиной технологического цикла, изучение которой базируется на предшествующих общетеоретических и общетехнических дисциплинах (общая и неорганическая химия, аналитическая химия, органическая химия с основами биохимии, физическая и коллоидная химия, общая химическая технология).

Изучаемый курс состоит из четырех разделов:

1. Введение в биотехнологию.
2. Основы микробиологии.
3. Основы биохимии микроорганизмов.
4. Основы биотехнологии.

Раздел «Введение в биотехнологию» представляет возможности биотехнологии, дает понятие об основных компонентах биотехнологических процессов, знакомит с критериями оценки.

Раздел «Основы микробиологии» содержит общие сведения о микроорганизмах, клетках и клеточных структурах, применяемых в биотехнологии в качестве биологических агентов.

Раздел «Основы биохимии микроорганизмов» включает химический и элементный состав микроорганизмов, знакомит с особенностями и механизмом ферментного катализа, изучает специфику биохимических реакций, энергетического и структурного обменов, а также дает понятие о метаболизме живых организмов.

Раздел «Основы биотехнологии» касается закономерностей роста и развития микроорганизмов, влияния различных факторов на их жизнедеятельность, знакомит со способами ведения биотехнологических процессов и методами выделения целевых продуктов. Биотехнология изучает промышленные методы получения различных веществ и продуктов с использованием биологических агентов – микроорганизмов, клеток животных и растений или изолированных из клеток биологических структур.

Согласно «Конвенции по биологическому разнообразию», подписанной на встрече глав государств и правительств в Рио-де-Жанейро в 1992 г., под биотехнологией понимают любую технологическую программу, которая использует биологические системы, живые организмы или их производные, чтобы создать или модифицировать продукты или процессы для особой цели. Именно биотехнология признана ООН технологией XXI века, способной решить в рамках концепции устойчивого развития стоящие перед человечеством проблемы.

# 1. ВВЕДЕНИЕ В БИОТЕХНОЛОГИЮ

Под биотехнологией понимают любую технологическую программу, которая использует биологические системы, живые организмы или их производные, чтобы создать или модифицировать продукты или процессы для особой цели.

Если рассматривать технологию как совокупность методов переработки сырья, материала или полуфабриката, осуществляемых в процессе производства продукции, то биотехнология объединяет методы, в которых для получения ценных продуктов используются живые организмы и биологические процессы.

В химической технологии сырье перерабатывают, воздействуя на него химическим реагентом, тогда как в биотехнологии на исходный материал – субстрат воздействуют биологическим агентом. В качестве биологических агентов, способных к биокатализу, применяются микроорганизмы, культуры клеток растений и животных, изолированные из клеток биологические структуры с комплексом ферментов и чистые ферменты.

В истории биотехнологии принято выделять ряд этапов, неразрывно связанных с развитием наших знаний о жизнедеятельности микроорганизмов. Поскольку биологический агент определяет специфику биотехнологического процесса можно ограничиваться тремя этапами. Первый, когда не знали о роли биологического агента (допастеровская эра длилась с древности до середины 19 в., 1857 г.). Второй, когда осознали эту роль (послепастеровская эра с 1857 г. по 1972 г.), и третий, когда появилась возможность создавать новые биологические агенты (эра новой биотехнологии с 1972 г. по настоящее время). Открытие биологических агентов дало толчок к поиску микроорганизмов, способных найти практическое применение. Были обнаружены микроорганизмы для производства органических кислот и растворителей, вакцин, кормовых дрожжей, антибиотиков, разработаны методы биологической очистки сточных вод.

Организация промышленного производства потребовала повысить продуктивность микроорганизмов. Использование традиционных для сельского хозяйства методов селекции осложнялось неспособностью большинства используемых в промышленности микроорганизмов к половому размножению. Используя воздействие мутагенов и совершенствуя методы селекции и выращивания микроорганизмов, удалось, например, повысить продуктивность природных продуцентов пенициллина в 10 – 12 тысяч раз. Некоторые мутанты дрожжей оказались способны усваивать углеводороды, т. е. появился принципиально новый источник сырья в биотехнологии. Разработка методов иммобилизации клеток и ферментов дала возможность их применению в промышленном масштабе.

Создание в 50 – 70-х годах XX века методов генной инженерии позволило конструировать вне организма новые генетические структуры, называемые рекомбинантная ДНК, и вводить их в живые клетки. В 1972 г. группой американских ученых во главе с Полом Бергом была получена первая такая

рекомбинантная ДНК, и этот год считают годом начала генной инженерии. Так, на основе кишечной палочки были созданы бактерии, продуцирующие белки человека, а клетки дрожжей приобрели способность синтезировать противовирусные белки животных – интерфероны.

Создаются биологические агенты, которые могут работать при повышенных температурах, в средах с повышенной кислотностью или щелочностью, т. е. в экстремальных условиях. Появился новый раздел молекулярной генетики – белковая инженерия.

Традиционным сырьем для биотехнологических процессов являлись пищевые продукты (молоко, зерно, овощи, фрукты), отходы сельского хозяйства и любые другие источники углеводов. В настоящее время к ним добавились и другие углесодержащие субстраты: нефтепродукты, природный газ, сточные воды, бытовые отходы. Особое значение имеют природные возобновляемые углесодержащие субстраты – продукты фотосинтеза: растительные полимеры (целлюлоза и другие полисахариды, лигнин) и их природные комплексы – древесина, солома, зеленая масса растений, биоресурсы мирового океана.

Современная биотехнология представлена такими направлениями, как промышленная, сельскохозяйственная, медицинская, экологическая, энергетическая и ресурсная биотехнологии (табл. 1).

Таблица 1 – Основные направления использования биотехнологических процессов

Область применения	Решаемые задачи
Промышленность (пищевая, фармацевтическая, химическая, нефтегазовая) - производства, основанные на брожении; - микробиологический синтез; - инженерная энзимология (ферментная биотехнология).	Получение спиртов, органических кислот;  Получение растворителей.  Производство биомассы.  Для выпуска продукции применяют ферменты, изолированные из клеток и не изолированные (лишены возможности развиваться искусственным путем). Получение ряда веществ, которые невозможно получить искусственным путем.
Сельское хозяйство	Производство кормового белка, аминокислот, витаминов и антибиотиков кормового назначения; Производство биологических средств защиты растений и бактериальных удобрений. Рекультивация почвы. Создание генетически модифицированных (трансгенных) растений с требуемыми свойствами; Новые методы селекции растений и животных.

Область применения	Решаемые задачи
Медицина	Производство диагностических и лекарственных средств, антибиотиков, вакцин, биологически активных веществ.
Энергетика	Производство топливного этанола, биогаза, водорода; Повышение эффективности преобразования солнечной энергии при фотосинтезе.
Экология	Конструирование, восстановление и мониторинг экосистем. Создание экологически безопасных технологий. Биотрансформация ксенобиотиков (чужеродных субстратов не природного происхождения); Биологическая очистка воды, воздуха, почв.
Электроника	Создание биосенсоров, биокомпьютеров.
Добыча и переработка полезных ископаемых	Повышение выхода нефти. Выщелачивание цветных и редкоземельных металлов. Понижение концентрации метана в шахтах. Снижение уровня загрязнения нефти и угля серосодержащими соединениями.
Лесное хозяйство	Вегетативное размножение ценных лесных растений. Селекция лесных культур. Клонирование деревьев.
ЦБП	Разработка методов биоделигнификации. Получение из отработанных сульфитных варочных растворов этилового спирта и дрожжей. Применение ферментов при отбелке технической целлюлозы.

**Инженерная энзимология** (ферментная биотехнология). Для выпуска продукции применяет ферменты как изолированные из биологических объектов, так и содержащиеся в клетках, которые искусственно лишены способности развития. Это направление промышленной биотехнологии стало возможным после разработки методов иммобилизации ферментов и клеток на твердых носителях. Методы инженерной энзимологии используют для производства фруктовых сиропов, диетического безлактозного молока, синтеза L-аспарагиновой и L-яблочной кислот, получения 6-аминопенициллановой кислоты из природного пенициллина для синтеза антибиотиков. Методы инженерной энзимологии находят применение при изготовлении ферментных электродов для экспресс-определения глюкозы, мочевины и других веществ, при создании аппаратов «искусственная печень» и «искусственная почка», для удаления эндотоксинов, образующихся при заживлении ран и ожогов.

В лесном хозяйстве современные методы биотехнологии используют при вегетативном размножении, селекции лесных культур, сохранении

генетического материала, клонировании деревьев, а также в генетических исследованиях с помощью молекулярных маркеров и для получения генетически модифицированных деревьев.

Генетическое модифицирование деревьев направлено на увеличение продуктивности лесов, повышение устойчивости к неблагоприятным внешним факторам, придание каких-либо требуемых свойств лесонасаждениям специального назначения, изменение характеристик древесины. Это может быть изменение особенностей формирования ствола, регулирование процессов лигнификации (одревеснения) и смолообразования, придание необходимых свойств древесным волокнам. В Китае уже заложена первая плантация модифицированного тополя для коммерческих целей.

Биотехнологические процессы находят применение и в переработке древесины. Так, на гидролизных заводах биопереработке подвергаются гидролизаты древесины, на сульфитцеллюлозных предприятиях – отработанные варочные растворы после химической переработки древесины. При отбелке целлюлозы применяются ферменты. Прорабатываются вопросы биоделигнификации древесины в производстве волокнистых полуфабрикатов. Целлюлозно-бумажная промышленность одна из первых отраслей, внедрившая на своих предприятиях биологическую очистку сточных вод. Спонтанная ферментация используется при утилизации древесных отходов и коры.

### 1.1. Основные компоненты биотехнологического процесса

На рис. 1 изображены основные компоненты технологического процесса – биологический агент, субстрат, биореактор, совокупность методов управления процессом (технологический режим) и целевой продукт.

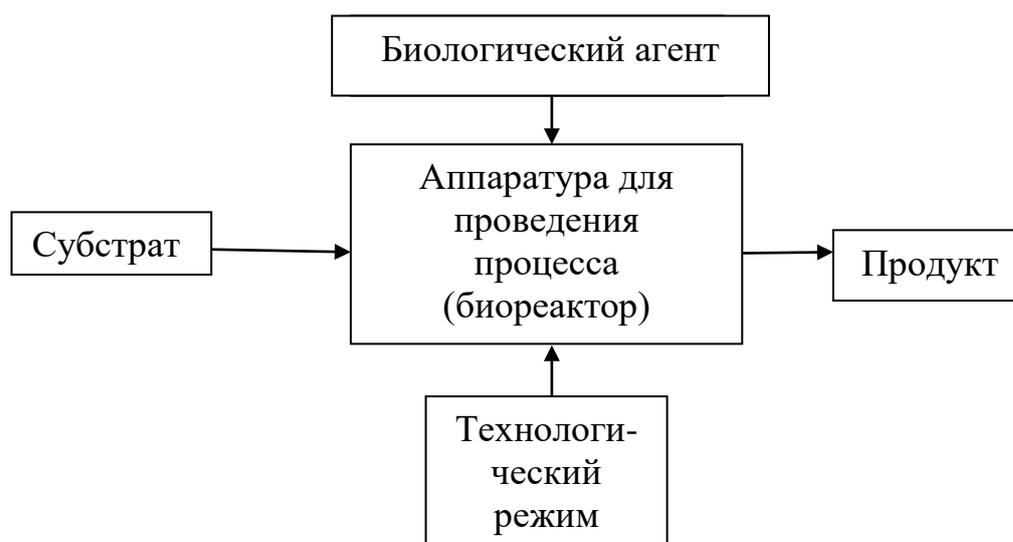


Рис. 1. Основные компоненты биотехнологического процесса

**Биологический агент** является движущей силой процесса. Именно он определяет используемое сырье, условия проведения процесса, аппаратуру для биопроцесса, получаемые продукты и производительность процесса. Вначале в качестве биологических агентов использовались **микроорганизмы**: бактерии, дрожжи и плесневые грибы. В настоящее время в связи с развитием методов клеточной инженерии появились возможности создания новых биологических агентов, позволяющие решать сырьевые, технические, экономические и экологические проблемы производства целевых продуктов, например, стали использовать вирусы, затем появилась возможность использовать многоклеточные микроорганизмы, клетки.

**Субстрат.** В биотехнологии традиционно в качестве исходного сырья используют пищевые продукты и сельскохозяйственные отходы, т. е. сырье богатое углеводами.

**Технологический режим.** Биотехнологические процессы проводят в строго конкретных условиях в соответствии с определенным технологическим режимом. Используются различные варианты проведения биотехнологических процессов как периодические, так и непрерывные, а также различные параметры. В ходе этих процессов микроорганизмы расщепляют сложные макромолекулы на более простые.

**Аппаратура для проведения биопроцесса.** Технологический режим проведения процесса будет определять тип используемого оборудования. Это могут быть небольшие емкости, а могут быть и промышленные биореакторы с объемом несколько м<sup>3</sup>.

**Продукт.** С помощью биотехнологии можно производить различные продукты (см. табл. 1).

## 1.2. Критерии оценки биотехнологических процессов

Любой технологический процесс оценивается с технологической, экологической и экономической точек зрения. Основным критерием оценки биотехнологического процесса является его продуктивность. Продуктивность – это количество продукта, образовавшегося на единицу объема биореактора в единицу времени.

Значение этого показателя зависит от содержания активной биомассы в реакторе, ее физиологической активности, от типа субстрата и от способности биомассы перерабатывать этот субстрат. Физиологическую активность биомассы определяют:

– удельная скорость потребления субстрата ( $q_s$ ):

$$q_s = (S_0 - S_1) / [X \cdot (t_1 - t_0)], \text{ кг}_\text{с} / (\text{кг}_\text{б} \cdot \text{ч}),$$

где,  $S_0$ ,  $S_1$  – концентрация субстрата в момент времени  $t_0$  и  $t_1$ , кг/м<sup>3</sup>;  $X$  – концентрация биомассы, кг/м<sup>3</sup>;  $t$  – время;

– удельная скорость образования продукта ( $q_p$ ):

$$q_p = (P_0 - P_1) / [X \cdot (t_1 - t_0)], \text{ кг}_\text{п} / (\text{кг}_\text{б} \cdot \text{ч}),$$

где,  $P_0, P_1$  – концентрация продукта в момент времени  $t_0$  и  $t_1$ , кг/м<sup>3</sup>;

– коэффициент выхода продукта от потребленного субстрата (или экономический коэффициент) ( $Y_{p/s}$ ):

$$Y_{p/s} = q_p/q_s = (P_1 - P_0)/(S_0 - S_1), \text{ кг}_p/\text{кг}_s;$$

– продуктивность биотехнологического процесса:

$$Q = q_s \cdot Y_{p/s} \cdot X, \text{ кг}/(\text{м}^3 \cdot \text{с}).$$

## 2. ОСНОВЫ МИКРОБИОЛОГИИ

Все многообразие живой природы может быть разделено на макромир и микромир. Макромир составляют видимые невооруженным глазом существа (люди, животные, птицы, растения, насекомые и др.). Микромир образуют мельчайшие, видимые только в микроскопе живые существа – микроорганизмы (микроскопические грибы и водоросли, бактерии, простейшие, и др.). **Наука, изучающая строение, жизнедеятельность и экологию микроорганизмов, называется микробиологией.** Под технической микробиологией понимают раздел биотехнологии, разрабатывающий технологические процессы с использованием микроорганизмов.

Представители макромира относятся к эукариотическим организмам, тогда как микроскопические существа могут иметь и эукариотическую структурную организацию и прокариотическую. Клетки эукариотов отличаются наличием ядра и хорошо сформированных внутриклеточных структур – органелл. Их ДНК организована в хромосомы – сложные, содержащие белок структуры. **Прокариоты** – доядерные организмы без ядра и высокоорганизованных органелл. Их двунитчатые ДНК сомкнуты в кольцо и плотно упакованы в образование, подобное ядру – нуклеоид. Созданием полной системы (классификации) мира живого занимается **систематика** – наука о разнообразии всех существующих и вымерших организмов и их взаимосвязях. Раздел систематики, изучающий принципы классификации, называется **таксономией**. Все организмы по определенным однородным свойствам объединяются в рамках той или иной таксономической категории. В основу таксономии микроорганизмов положены их морфологические, физиологические, биохимические и молекулярно-биологические свойства.

Основной таксономической категорией является **вид** – совокупность особей одного генотипа с ярко выраженным фенотипическим (внешним) сходством. Для микроорганизмов вид можно определить как группу близких по своим свойствам организмов общего происхождения, обособленную отбором от других видов и приспособленную к определенной среде обитания. Близкие по происхождению виды объединяют в **род**.

Название живых организмов дается по бинарной номенклатуре, т. е. состоит из двух латинских слов: первое – наименование рода, а второе – видовой эпитет. Например, *Candida scottii*, *C. tropicalis*, *C. utilis* (при повторном употреблении наименование рода сокращают) – названия дрожжей рода

*Candida*, объединяющего более сотни видов. Названия рода и вида пишут курсивом, в отличие от других таксономических категорий.

В микробиологии существует ряд специфических терминов в классификации и культивировании микроорганизмов:

– **штамм** – это один и тот же вид микроорганизмов, но имеющих различную продуктивность;

– **раса** – эта группа микроорганизмов одного вида, отличающихся от других представителей данного вида некоторыми особенностями, закрепленными генетически;

– **популяция** – это совокупность особей одного вида, обитающих на определенной территории;

– **культура** – это группа организмов преимущественно одного вида, выращенная на определенной питательной среде;

– **культивирование** – процесс выращивания микроорганизмов на данной питательной среде или ферментация;

– **ферментатор** – это биореактор;

– **чистая культура (клон)** – это культура, выращенная на определенной питательной среде из одной материнской клетки, т. е. является генетически однородным потомством одной клетки.

Высшей таксономической категорией является царство. Следует отметить, что сложность организации живого мира приводит к неоднозначной классификации его представителей. По одному из самых простых вариантов выделяют пять царств: бактерии (Молега), животные (Animalia), растения (Plantae), грибы (Fungi) и протисты (Protista). Первое царство – царство прокариот, остальные – царства эукариот.

К животным относят самые высокоорганизованные многоклеточные эукариотические организмы, питающиеся в основном заглатыванием пищи и ее перевариванием во внутренней полости; подвижность организма или его отдельных частей обеспечивается сократимыми фибриллами.

Царство растений включает многоклеточные фотосинтезирующие эукариотические организмы, приспособленные к жизни на суше; клетки имеют вакуоли и клеточную стенку с целлюлозными фибриллами.

Грибы – неподвижные нитчатые эукариоты, не способны, как и животные, к фотосинтезу; питаются, сорбируя вещества из среды, в которой они прорастают.

Все остальные одноклеточные и многоклеточные эукариотические организмы, не обладающие отличительными признаками животных, растений и грибов, отнесены к царству протистов.

В биотехнологии используют клетки растений и животных, микроорганизмы, внутриклеточные структуры и чистые ферменты. Микроорганизмы в промышленной биотехнологии представлены в основном бактериями и микроскопическими грибами (дрожжи, плесневые грибы). Ограниченное применение находят микроскопические водоросли (очистка сточных вод, получение кормового и пищевого белка) и относящиеся к протистам простейшие (очистка сточных вод).

В связи с развитием генной инженерии необходимо упомянуть и о таких природных переносчиках генетической информации, как вирусы. Вирусные частицы обладают очень небольшими размерами (самые малые порядка 20 нм) и представляют собой нуклеиновую кислоту (ДНК или РНК), заключенную в белковую оболочку. Они не имеют клеточного строения и могут воспроизводиться только в чужих клетках, обладая способностью проникать в эти клетки, что и используют в генетической инженерии. Вирусы иногда относят к микроорганизмам, включая их в особое царство (Vira).

## **2.1. Биологические агенты**

### **2.1.1. Клетки животных и растений**

Клетка является основной структурной единицей живых объектов – организмов, которые могут быть одноклеточными и многоклеточными. Живые объекты отличаются своей способностью к обмену веществ с окружающей средой и воспроизведению себе подобных с передачей генетической информации. Для поддержания этих функций в процессе эволюции в клетке сформировались определенные структуры с различным уровнем организации: от отдельных макромолекул до органелл. Все это сделало весьма похожим структурную организацию клеток разных организмов, хотя и имеются существенные отличия между клетками животных, растений и микроорганизмов.

Важную роль в образовании клетки и ее существовании играют биологические мембраны. Это тончайшие (до 10 нм) пленки, которые ограничивают живое содержимое клетки – протопласт и участвуют в формировании внутриклеточных структур.

Поражает обилие выполняемых ими функций и разнообразие свойств, которые изменяются по поверхности мембраны и могут отличаться у разных сторон одного и того же участка мембраны. Мембраны должны обладать избирательной проницаемостью, чтобы через них проходили только определенные частицы, при этом в некоторых случаях только в одном направлении. Сквозь мембраны выборочно могут проходить не только отдельные небольшие молекулы, но и макромолекулы, капельки жидкости, твердые частицы. На мембранах в определенных местах происходит биокатализ химических реакций, локализация биокатализа позволяет осуществлять последовательность химических реакций, сопряженных во времени и пространстве. Мембраны могут разъединяться и, наоборот, выборочно объединяться с образованием единой мембраны, т. е. у них есть механизм узнавания. Следует отметить, что человечество начало осваивать мембранные технологии только с середины прошлого века и пока еще сильно отстает от живой природы, особенно в области мембранного катализа.

Многофункциональность биологических мембран объясняет предложенная Сингером в 1972 г. **жидкостно-мозаичная модель** их строения (рис. 2а). Согласно этой модели, мембрана состоит из двойного слоя молекул полярных липидов, имеющих в своей структуре полярную (гидрофильную) и неполярную (гидрофобную, липофильную) части (фосфолипиды, гликолипиды, стерин). В липидном слое распределены глобулярные белки.

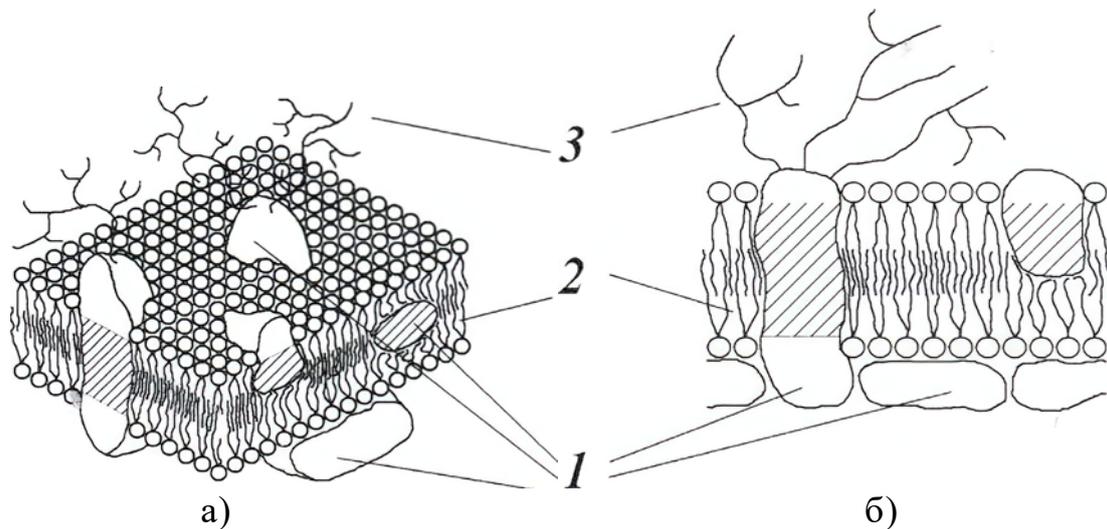


Рис. 2. Биологическая мембрана: а) жидкостно-мозаичная модель; б) трехслойная модель (1 – белки, 2 – липидный слой, 3 – олигосахаридные цепи; на срезах у белков заштрихованы участки с липофильными поверхностями)

Липиды являются основным строительным материалом клетки. Сложность, многообразие и изменчивость липидного состава мембран, по-видимому, предполагает их участие в регуляции важнейших процессов. Мембранные белки, доля которых составляет от 20 до 75 % общей массы мембраны, также играют структурную роль, но, главным образом, они осуществляют большинство специализированных функций отдельных мембран.

Белки организуют транспортные потоки через мембрану, служат катализаторами протекающих в мембранах и на их поверхностях реакций. Располагаясь определенным образом на мембране и внутри нее, белки придают ей асимметричность, т. е. наружная поверхность мембраны отличается по свойствам от внутренней. Предложена модель мембраны, согласно которой в ней имеются относительно стабильные участки – домены, отличающиеся по своему составу. На поверхности мембраны обнаружены олигосахаридные цепи, химически связанные с белками и липидами. Предполагают, что, по крайней мере, некоторые из этих цепей принимают участие в процессах узнавания. В соответствии с

**трехслойной моделью** биомембраны имеют следующее строение (см. рис. 2б): снаружи мембраны находится углеводный слой олигосахаридных цепей мембранных гликопротеинов, затем липидный слой с белками, а на внутренней поверхности располагаются выступающие белки. Такая трехслойность наиболее ярко выражена у биологических мембран, ограничивающих протопласт.

Таким образом, липидный слой определяет основные структурные особенности биологических мембран, а белки ответственны за большинство функций мембран. В активном состоянии мембрана имеет жидкую консистенцию, которая зависит от доли остатков ненасыщенных жирных кислот в молекулах липидов.

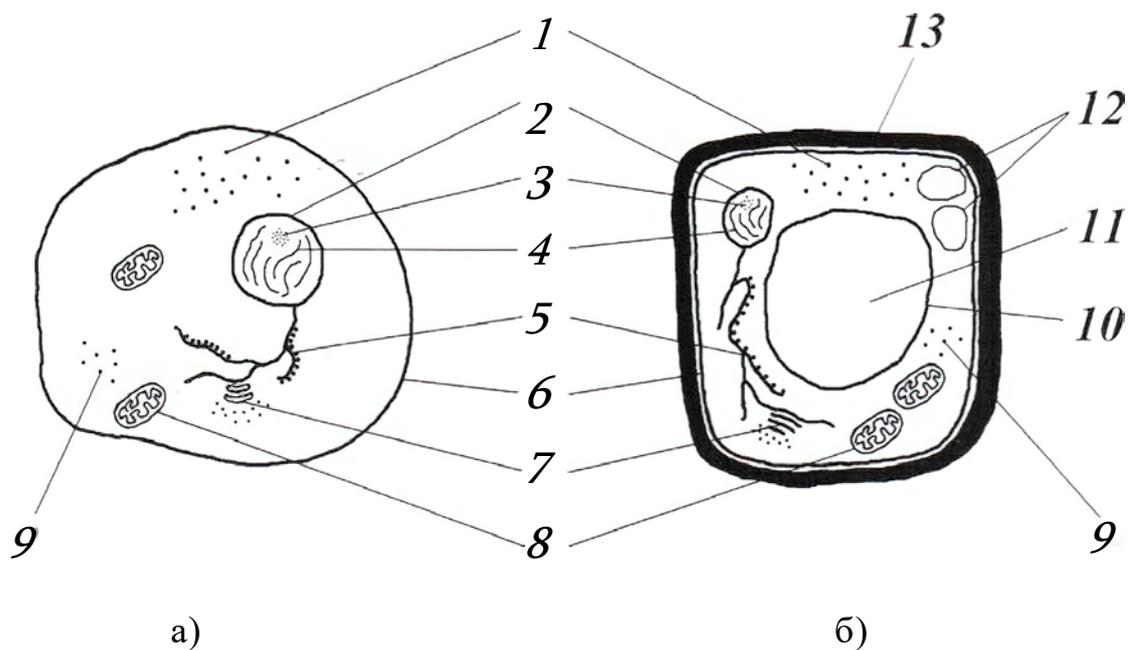


Рис. 3. Животная (а) и растительная (б) клетки: 1 – рибосомы; 2 – ядро; 3 – ядрышко; 4 – хроматин; 5 – эндоплазматическая сеть; 6 – плазматическая мембрана; 7 – комплекс Гольджи; 8 – митохондрии; 9 – микротельца; 10 – тонопласт (оболочка вокуоли); 11 – вакуоль; 12 – пластиды; 13 – клеточная стенка

Рассмотрим в общих чертах строение животной и растительной клеток (рис. 3). Протопласт этих клеток состоит из цитоплазмы и ядра. Цитоплазма ограничена биологической мембраной и содержит многочисленные органеллы и мембранные системы. Жидкое содержимое, в котором распределены внутриклеточные структуры, находится в постоянном движении и представляет собой водный коллоидный раствор – **цитозоль**. Цитозоль обогащен белками, липидами, углеводами и неорганическими веществами. **Ядро** содержит генетическую информацию и контролирует жизнедеятельность клетки. Носители генетической

информации – молекулы ДНК у эукариот организованы в сложный комплекс с белками – **хроматин**, тонкие нити которого объединяются в хромосомы перед делением клетки. В ядре происходит удвоение ДНК, синтез и переработка РНК, а также образуются составные части рибосом (в ядрышке). Ядро окружено ядерной оболочкой. Ядро состоит из ядерной оболочки, ядрышка, ДНК и ядерного сока. Ядерная оболочка имеет поры, по которым осуществляется движение веществ в обе стороны. В ядро проходят белки для синтеза рибосом, а из него выходят рибосомы, информационные и транспортные РНК.

Основная функция ядрышка – сборка рибосом, а в состав ядерного сока входят белки и различные РНК.

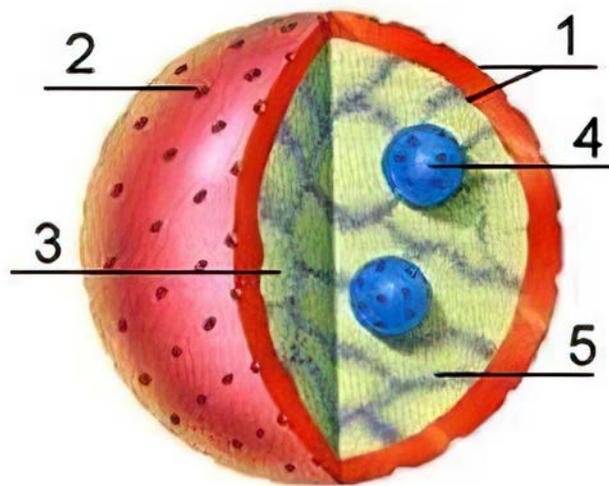


Рис. 4. Строение ядра: 1 – ядерная оболочка; 2 – ядерные поры; 3 – ядерный сок; 4 – ядрышко; 5 – хроматин

С наружной мембраной ядерной оболочки связана разветвленная сеть сообщающихся между собой мембранных трубочек и пузырьков – **эндоплазматическая сеть**. В этой сети происходит синтез углеводов и липидов, а прикрепленные к ней рибосомы синтезируют белки. Синтезируемые вещества накапливаются во внутренних каналах и полостях эндоплазматической сети и могут по системе таких каналов передаваться из клетки в клетку. Выделение из сети синтезированных веществ (секреторная функция) осуществляется **аппаратом Гольджи**, который сортирует эти вещества, часто трансформирует и направляет в необходимый участок клетки с помощью микротрубочек, образованных глобулярным белком – тубулином. Эндоплазматическая сеть бывает гладкой, не содержащей рибосом и шероховатой, которая содержит рибосомы.

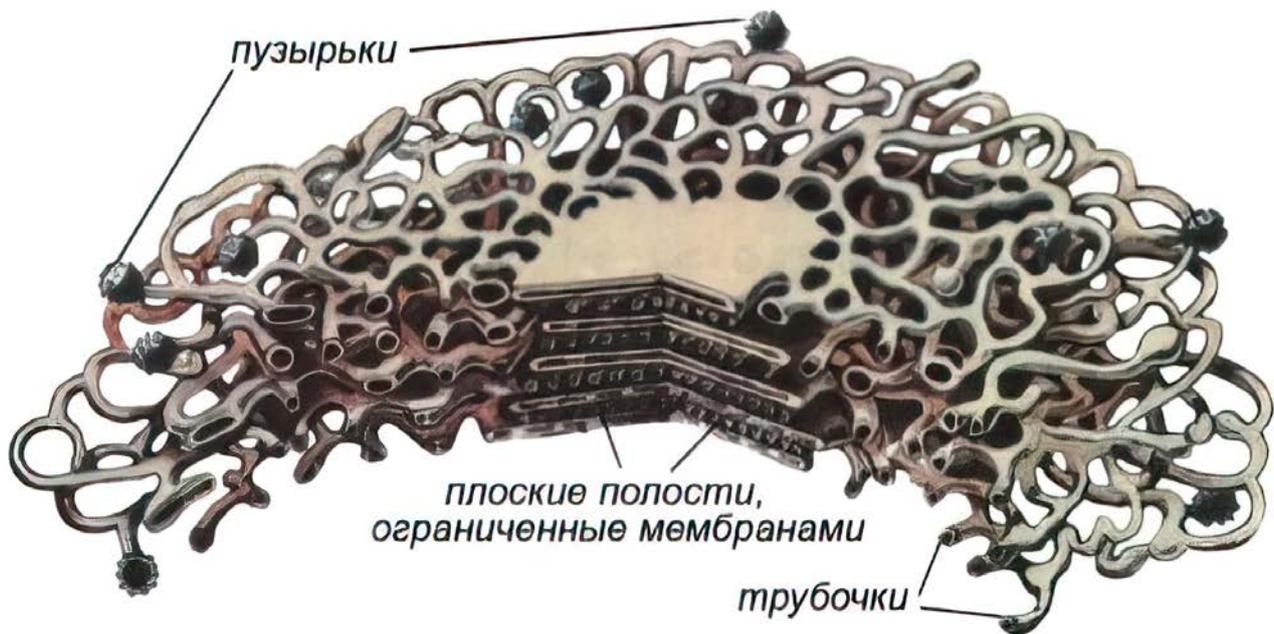


Рис. 5. Аппарат Гольджи

Аппарат Гольджи состоит из одной (животные) или нескольких (растения) диктиосом. Диктиосома – динамическая структура, состоящая из стопки плоских мембранных образований – цистерн (диаметр 0,5 – 2,0 мкм). Цистерны формируются из материала эндоплазматической сети, а затем, по мере созревания, распадаются на отдельные пузырьки, которые вместе с содержимым направляются в разные участки клетки. Аппарат Гольджи выполняет следующие функции: сортировка, модификация веществ, синтез лизосом.

Из содержащихся в клетках животных и растений органелл следует упомянуть митохондрии, микротельца и рибосомы.

**Митохондрии** (рис. 6) выполняют роль внутриклеточных центров окисления. Это достаточно крупные органеллы вытянутой формы с длиной до 6 мкм и поперечными размерами 0,5 – 2 мкм. Внутренняя структура митохондрий (многочисленные выросты или складки внутренней мембраны, разделяющие полость митохондрии на отдельные связанные между собой отсеки) обеспечивает локализацию отдельных окислительно-восстановительных реакций и определенный порядок их протекания. Выделяющаяся при окислении органических веществ энергия накапливается в форме аденозинтрифосфорной кислоты (АФТ) и передается по всей клетке. Таким образом, митохондрии представляют собой энергетические центры клетки. Имеют собственную ДНК и способны к размножению.

**Микротельца** (лизосомы, пероксисомы, глиоксисомы) – небольшие сферические органеллы (0,2 – 1,5 мкм), содержащие определенный набор ферментов, обуславливающий их предназначение. Так, лизосомы

содержат порядка 30 различных ферментов, ускоряющих гидролитическую деструкцию многих веществ (центры внутриклеточного пищеварения в клетках животных).



Рис. 6. Строение митохондрии

**Лизосомы** («лизис» – разрушение, расщепление), самые мелкие из которых составляют 0,5 мкм, содержат гидролитические ферменты, способные расщеплять белки, углеводы, жиры и нуклеиновые кислоты. Функция лизосом: пищеварительная и утилизация «старых» частей клеток, целых клеток, могут удалять целые органы (хвостик у головастика рассасывается с помощью лизосом).



Рис. 7. Лизосома

**Рибосомы** – мелкие (0,02 – 0,03 мкм) органеллы, сформированные из двух субъединиц, состоящих из РНК и белков. В рибосомах происходит синтез молекул белков. Они распределены по объему клетки, либо прикреплены к эндоплазматической сети.

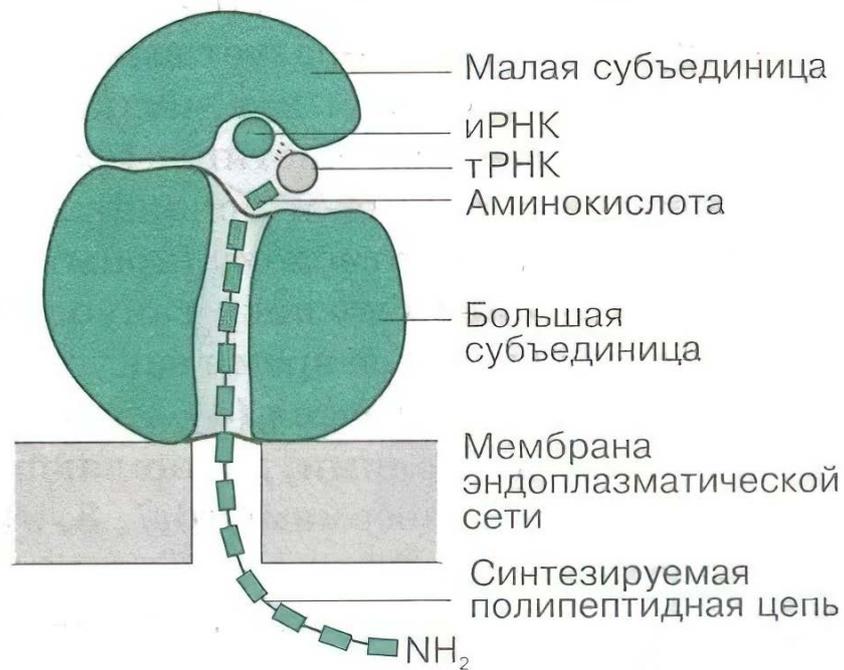


Рис. 8. Строение рибосомы

**Клеточные включения** – непостоянные образования, которые чаще всего находятся в цитоплазме, реже в ядре. Все включения – продукт клеточного метаболизма (обмена веществ), накапливающиеся в виде гранул, капель или кристаллов (в виде капель – жир, гранул – пигменты, кристаллов – неорганические соли).

**Различия животной и растительных клеток:**

1. Растительная клетка приблизительно на 90 % состоит из вакуолей, а некоторые животные клетки содержат их до 5 %.

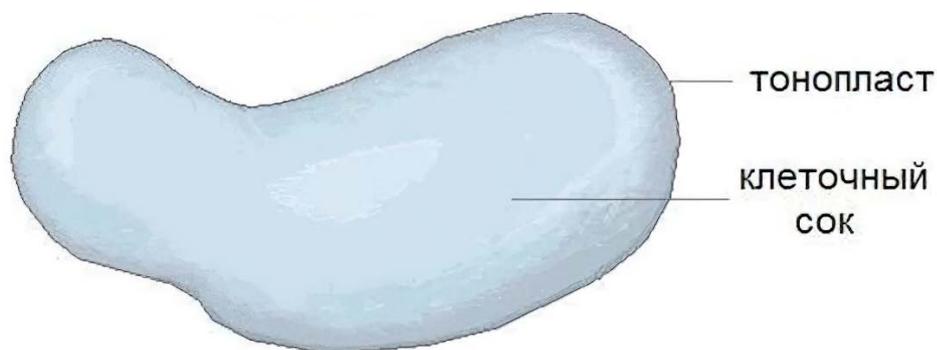


Рис. 9. Вакуоль

2. Наличие пластид у растительной клетки; пластиды бывают трех видов:

- **хлоропласты** – зеленого цвета, отвечают за фотосинтез;
- **лейкопласты** – бесцветные, содержат крахмал, масла, белок;
- **хромопласты** – желто-оранжевого цвета, содержатся в цветках, плодах, осенних листьях.

Все три вида могут превращаться друг в друга. Форма хлоропласта – двояковыпуклая линза, чтобы улавливать больше света. Благодаря собственной ДНК могут делиться аналогично митохондриям.

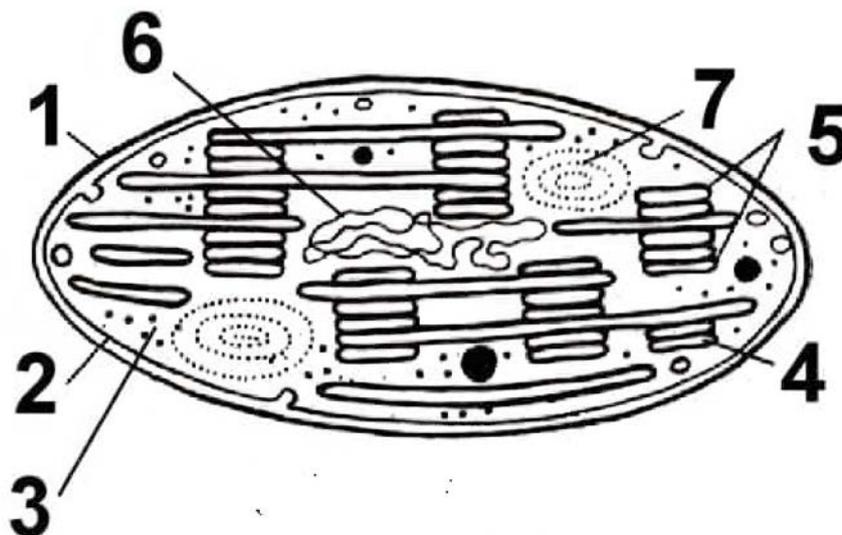


Рис. 10. Хлоропласт: 1 – наружная мембрана; 2 – внутренняя мембрана; 3 – РНК; 4 – тилакоид; 5 – грана; 6 – ДНК; 7 – зерно крахмала

3. Наличие клеточной стенки характерно для растительной клетки, в то время как животная клетка имеет только плазматическую мембрану.

Клеточная стенка состоит из целлюлозы и лигнина, основная функция – придание прочности, формы и защита.



Рис. 11. Органоиды растительной и животной клетки

Таблица 2 – Особенности строения и функции органоидов животной и растительной клетки

Название	Особенности строения	Функции
Рибосома	Немембранный органоид Большая и малая субединица, которые состоят из рибосомальной ДНК и белков	Биосинтез белка
Органоиды движения	Немембранный органоид Микротрубочки	Передвижение клетки
Клеточный центр (органоид животных)	Немембранный органоид Две центриоли	Участвует в деление клетки
Лизосома	Одна мембрана, ферменты	Расщепление биополимеров, а также расщепление старых частей клетки
Шероховатая эндоплазматическая сеть	Одна мембрана, трубочки, канальцы, рибосомы	Синтез белка, транспорт его по клетки
Гладкая эндоплазматическая сеть	Одна мембрана, трубочки, канальцы, пузырьки	Синтез липидов и углеводов, из транспорт по клетке

Название	Особенности строения	Функции
Аппарат Гольджи	Одна мембрана, образующая складки	Конечный синтез органических веществ, транспорт веществ по клетке и выделение их из нее, образование лизосом, накопление веществ
Вакуоль (органойд растений)	Одна мембрана, клеточный сок	Запас органических веществ и воды
Митохондрия	Две мембраны, молекула ДНК, рибосомы	Окисление органических веществ до неорганических, запас выделяющейся энергии в виде АТФ
Хлоропласт (органойд растений)	Две мембраны, молекула ДНК, граны с тиколоидами, строма	Фотосинтез
Хромопласт (органойд растений)	Две мембраны, молекула ДНК, пигменты, рибосома	Окрас растений
Лекопласт (органойд растений)	Две мембраны, молекула ДНК, крахмал	Запас углеводов

## 2.2. Бактерии

Бактерии – это прокариоты, имеющие одноклеточное строение. Бактерии классифицируются следующим образом.

В классификации бактерий используют любые возможные признаки, позволяющие различать микроорганизмы: физиологические, биохимические, культуральные, морфологические, серологические и другие.

Начнем с одной общей характеристики бактерий – их отношению к йодному красителю. Ровно сто лет тому назад Кристиан Грам установил, что если окрасить бактериальную клетку анилиновым красителем «кристаллическим фиолетовым», обработать ее йодом, а потом промыть спиртом или ацетоном, то у одной бактерии лиловая окраска (от комплекса йод – краситель) сохраняется, а у других исчезает. Бактерии первой группы получили название грамположительных, второй – грамотрицательных. Этим Грам не только обессмертил свое имя, но и дал в руки микробиологам достаточно надежный ключ для начала определения бактериальной клетки, оказавшейся в поле зрения микроскопа.

## 2.2.1. Виды классификации бактерий

а) по Граму делятся на:

- грамположительные;
- грамотрицательные;

б) по составу и строению клеточной стенки:

- с толстой клеточной стенкой;
- с тонкой клеточной стенкой;
- без клеточной стенки;
- археобактерии (стенка есть, но устроена иначе);

в) по форме:

- кокки (шаровидные);
- бациллы (палочковидные);
- извитые (вибрионы, спириллы, спирохета, ветвящиеся).

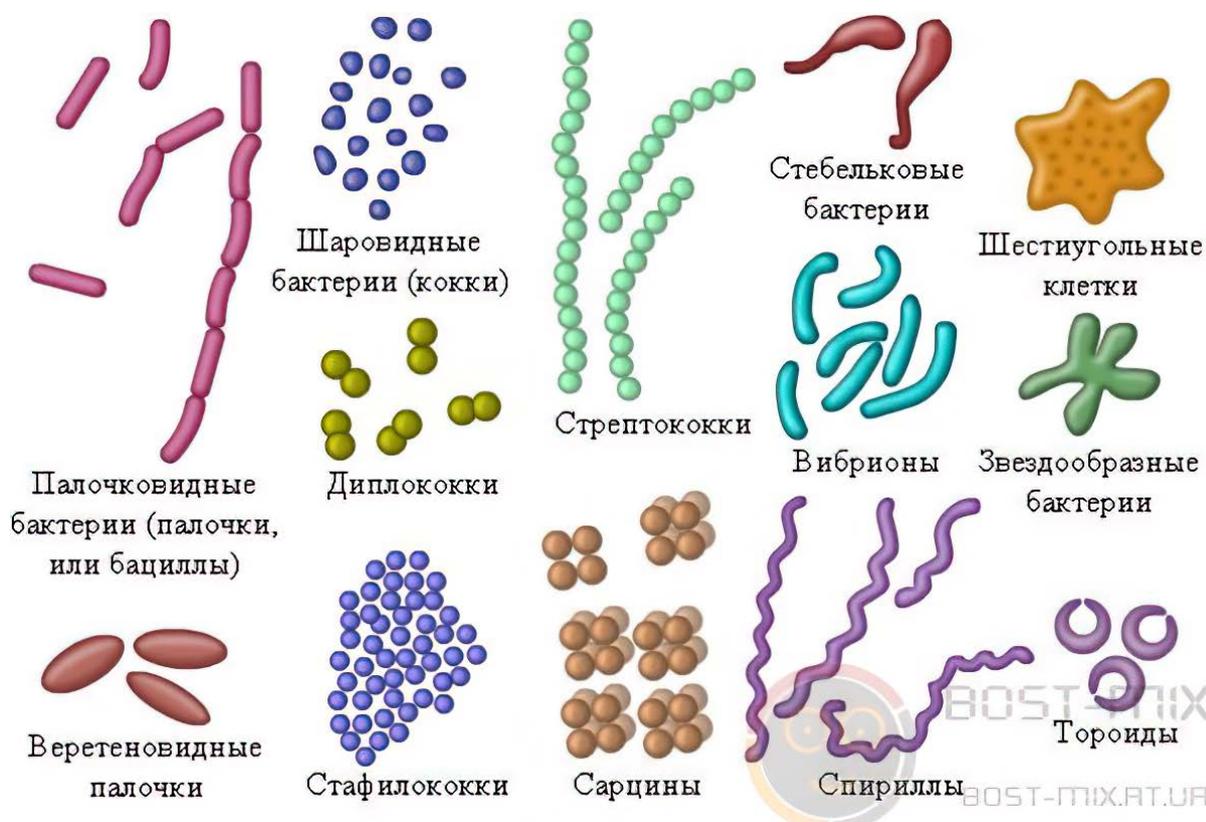


Рис. 12. Формы бактерий

**Кокки** имеют округлую форму, диаметр их 1–2 мкм. В зависимости от расположения клеток после деления кокков различают ряд групп: **микрোকки** клетки располагаются одиночно; **диплококки** – клетки не разъединяются, а остаются связанными по две; **стрептококки** – клетки образуют цепочки разной длины. Все эти морфологические группы имеют место при правильном делении клеток в одной плоскости. Однако кокки могут делиться в нескольких плоскостях и направлениях.

При делении кокков в различных направлениях возникают скопления клеток, напоминающих гроздь винограда – это **стафилококки**. Деление кокков в двух взаимно перпендикулярных направлениях приводит к образованию **тетракокков**. При одновременном делении кокков в трех плоскостях получают пакеты из восьми кокков в виде тюков кубической формы. Это характерно для **сарцин**.

Отдельные представители кокков имеют полукруглую форму клеток. Это **пневмококки, менингококки и гонококки**. Форма пневмококков овальная, напоминающая пламя свечи, клетки соединены попарно широкими основаниями. Менингококки и гонококки имеют форму бобов или кофейных зерен, клетки соединены по две вогнутыми сторонами. Бобовую форму имеют клетки бактерий рода *Renobacter*.

Кокковые формы, за исключением *Sarcina ureae* (мочевой сарцины), не образуют спор, неподвижны, широко распространены в природе. Многие из них патогенны и являются возбудителями воспалительных процессов (пневмококки, менингококки, гноеродные стрептококки и стафилококки), другие не патогенные – вызывают, например, молочное брожение (*Str. lactis?* *Str. cremoris*), некоторые используются в производстве для биосинтеза декстрана – заменителя плазмы крови (*Leuconostoc mesenteroides*).

К палочковидным относится самая многочисленная группа бактерий. Клетки имеют цилиндрическую форму с округленными либо срезанными концами.

Для определенных бактерий характерно соединение палочковидных клеток в длинные нити, в результате чего образуются многоклеточные нитевидные формы. Представителями нитевидных бактерий являются железобактерии (род *Leptothrix*), бесцветные серобактерии (роды *Beggiatoa* и *Thiothrix*) и другие, достигающие в длину более 1 см.

Если спора располагается в центре клетки и ее диаметр не превышает диаметр клетки, то такой тип называется **бациллами**; если диаметр споры превышает диаметр клетки, то при расположении споры в центре имеет веретеновидное утолщение и называется **кlostридием**, а при расположении споры в конце – принимает вид барабанной палочки или теннисной ракетки и называется **плектридием**.

К группе извитых форм относятся изогнутые или спиралевидные извитые клетки. В зависимости от формы и количества завитков различают три типа клеток: **вибрионы, спириллы и спирохеты**. Вибрионы изогнуты в виде полумесяца или запятой, спирохета – в виде мелких витков спирали, спирилла имеет несколько крупных завитков.

Кроме описанных бактерий, которые являются основными в природе, известны и иные формы. Так, бактерии рода *Mycobacterium* наряду с палочковидной на ранней стадии развития имеет ветвистую форму. Ветвление может быть многократным.

В раздел бактерии включены все прокариоты, за исключением сине-зеленых водорослей.

Морфологически и функционально это очень неоднородная группа

микроорганизмов. Условно ее можно разделить на ряд подгрупп: на организмы, обладающие всеми типичными признаками прокариотов – эубактерии; бактерии, имеющие сходство с эубактериями и сине-зелеными водорослями, – фитотрофные бактерии и отдельные представители скользящих бактерий, в частности, бесцветные серобактерии; бактерии, отличающиеся от эубактерий структурной организацией клетки, – миксобактерии, спирохеты, актиномицеты, микоплазмы и риккетсии.

**Эубактерии (истинные бактерии).** Это самая обширная и многообразная группа прокариотов, представленная различными таксономическими категориями. Это одноклеточные неветвящиеся бактерии имеют ригидную клеточную стенку, размножаются бинарным делением, ядро у них представлено одной кольцевой хромосомой. Среди эубактерий есть подвижные и неподвижные формы. Движение осуществляется при помощи жгутиков простого строения, состоящих из взаимно скрученных фибрилл. Эубактерии не образуют фотосинтезирующие пигменты, лишены фотосинтетического аппарата и не способны к фотосинтезу. Они очень разнообразны по физиологическим свойствам. По типу питания одни из них являются хемолитотрофами, другие – хемоорганотрофами. Среди многочисленной группы эубактерий есть грамположительные и грамотрицательные, споровые и не образующие спор, аэробы и анаэробы, патогенные и сапрофитные.

Эубактерии очень широко распространены в природе. Типичными представителями их являются бактерии семейств: *Pseudomonadaceae*, *Enterobacteriaceae*, *Bacillaceae*, *Spirillaceae* и другие.

**Бактерии, сходные с сине-зелеными водорослями.** Наибольшим морфологическим и физиологическим сходством с сине-зелеными водорослями обладают бесцветные серобактерии родов *Beggiatoa*, *Thioploca*, *Thiothrix*. Клетки этих бактерий нитчатой формы.

**Миксобактерии.** По классификации Берджи миксобактерии относятся к группе скользящих бактерий. Это грамотрицательные палочковидные или веретенообразные бактерии. Клетки часто вытянуты и заострены на концах, длина их колеблется в пределах 0,7 – 10 мкм. В отличие от эубактерий клетки миксобактерий не имеют клеточной стенки. Клеточная стенка у них тонкая эластичная, поэтому при движении они могут изгибаться, меняя форму тела. Движение миксобактерий осуществляется по типу скольжения и возможно только на твердом субстрате.

Многие миксобактерии образуют плодовые тела, которые могут быть ярко окрашенными в оранжевый или другой цвет. Плодовые тела имеют разную форму и размеры: от микроскопического бугорка до скопления слизи с погруженными в нее покоящимися укороченными клетками.

**Спирохеты.** Это сравнительно небольшая группа одноклеточных

микроорганизмов, имеющих спирально извитую форму. Название получила за форму клетки (от латинского *spira* – изгиб). Движение спирохет осуществляется за счет сокращения фибрилл аксиальной нити, форма движения винтообразная.

**Актиномецеты (пор. Actinomycetales).** Они представляют своеобразную группу грамположительных бактерий, морфологически отличающуюся от азобактерий. Клетки актиномицетов способны ветвиться, образуя своеобразный мицелий. В большинстве случаев мицелий актиномицетов не имеет перегородок, т. е. представляет собой одну разветвленную клетку. Диаметр мицелия близок к диаметру клеток бактерий: 0,5 – 1,5 мкм. Главным признаком актиномицетов, относящим их к бактериям, служит прокариотический тип клетки.

### 2.2.2. Строение бактериальной клетки

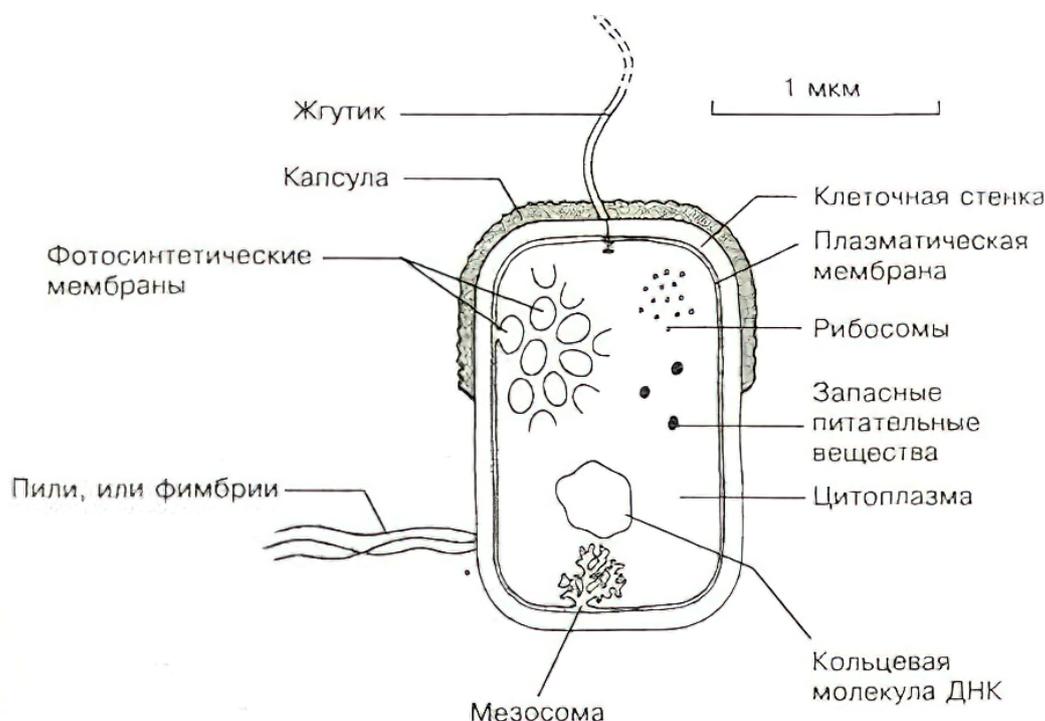


Рис. 13. Схема строения бактериальной клетки

**Фимбри** – выросты, с помощью которых бактерии прикрепляются к среде, они же называются пили, если выполняют половую функцию.

**Плазмиды** – органоиды, в которых находится наследственная информация (5 %), могут покидать клетку и обмениваться между собой частичкой наследственной информации с целью приспособления к изменяющимся условиям окружающей среды.

**Мезосомы** – заменяют митохондрии и лизосомы, у фототрофов вместо мезосом – тилакоиды, в которых происходит фотосинтез.

**Слизистая капсула** состоит из полисахаридов, по консистенции представляет собой желеобразный слизистый слой, плотно покрывающий

клеточную стенку снаружи. В зависимости от толщины и консистенции капсульного слоя различают микрокапсулу, макрокапсулу и слизистый слой. Капсула в жизни бактерий выполняет защитные функции при неблагоприятных воздействиях. С потерей капсулы изменяются некоторые биологические свойства. Так, пневмококки, теряя капсулу, утрачивают способность вызывать пневмонию.

Значение бактерий в природе: почвообразующая, за счет бактерий гниения и обогащение почвы азотом азотофиксирующими бактериями (на 1 гектар образуют 50 кг азота).

Значение бактерии в биотехнологии:

- молочно-кислые бактерии (молочная промышленность);
- спиртовое и уксуснокислое брожение;
- сыроварение (пропионовокислое брожение);
- получение биоудобрений;
- получение биопестицидов, которые являются естественными врагами вредителей насекомых;
- получение вакцин;
- получение антибиотиков с помощью актиномицетов (ветвистых) бактерий;
- широкое использование бактерий в генной инженерии (только на основе кишечной палочки с помощью генной инженерии получено 80 видов белка и гормонов, в том числе инсулин).

### 2.3. Грибы

Грибы – это эукариотические организмы, представляют собой ветвящиеся нити (гифы), которые сплетены в грибницу. Клеточная стенка грибов состоит из хитина, внутри грифов имеются перегородки.

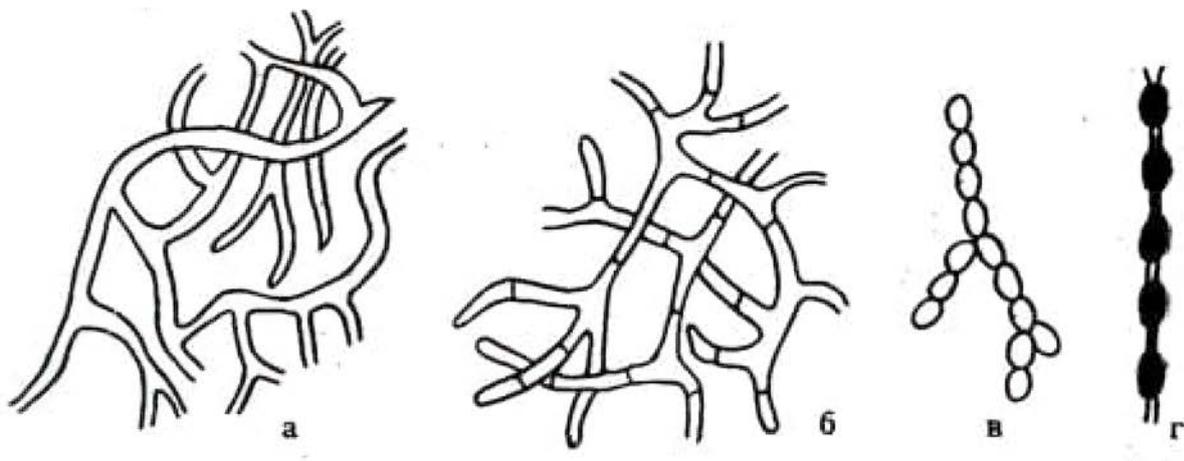


Рис. 14. Мицелий плесневых грибов и его видоизменения:  
 а – одноклеточный мицелий; б – многоклеточный мицелий; в – ондин;  
 г – хламидоспоры

Грибы представляют собой большую группу низших растительных организмов, но имеющих более сложное строение и более совершенные способы размножения, чем бактерии.

Всего известно свыше 80 тысяч видов грибов, и в основе их классификации лежат способы размножения и органы плодоношения, которые характерны для отдельных родов и видов грибов.

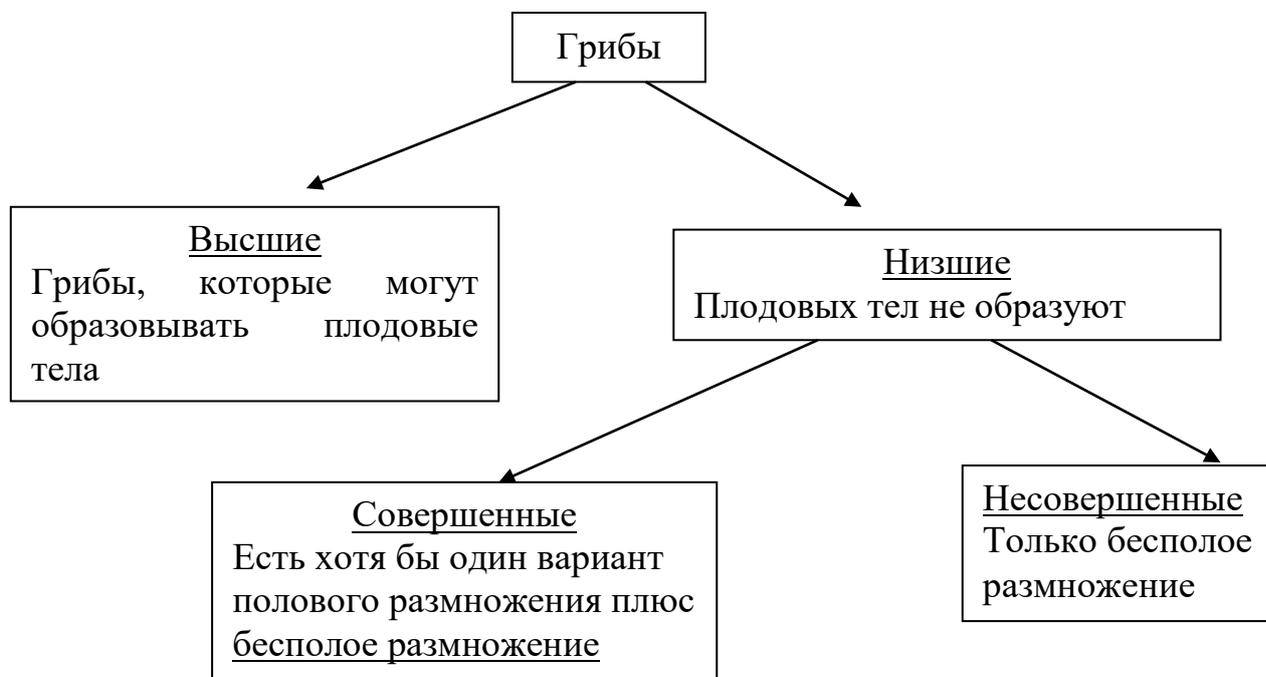


Рис. 15. Классификация грибов

Тип настоящих грибов делится на 4 обособленных класса:

**Фикомицеты** – насчитывающие около 800 видов, широко распространены в природе. Мицелий преимущественно неклеточный со многими ядрами. Размножение половое и бесполое. Половой процесс осуществляется с помощью подвижных гамет. Бесполое размножение происходит зооспорами или спорангиоспорами. В этот класс входит особенно большое семейство мукоровых грибов, они образуют ветвистый мицелий, состоящий из одной сильно разветвленной клетки, от которой обособляются плодоносящие тела со спорами.

**Аксомицеты** – сумчатые грибы, существует более 35 тысяч видов. Основным признаком их является образование сумки, содержащей споры. Сумчатые грибы подразделяются на два подкласса – **плодосумчатые** и **голосумчатые**. У плодосумчатых грибов сумка со спорами развивается в плодовых телах или на поверхности. К этим грибам относятся плесневые грибы, часть из которых находит широкое применение в народном хозяйстве. В частности, гриб *Aspergillus niger* используется для приготовления некоторых сортов сыра и получения лимонной кислоты.

Многие из плесневых грибов применяются в промышленности для получения антибиотиков.

Голосумчатые грибы плодового тела не имеют, и сумки образует непосредственно на вегетативном мицелии, как правило с 6 – 8 спорами. К голосумчатым грибам относятся дрожжи, которые широко используются в гидролизной и пищевой промышленности при производстве спирта, вина, пива и ряда других продуктов.

**Базидиомицеты** имеют многоклеточный мицелий и образуют базидиоспоры. К этому классу относятся широко известные съедобные грибы (подберезовик, масленок и другие) и ядовитые (мухомор красный, бледная поганка и другие). Ряд грибов этого класса вызывают заболевания растений.

**Несовершенные грибы** – образуют мицелий такой же, как у сумчатых и базидиальных грибов, но размножаются только бесполым путем. Половое спороношение неизвестно. В этот класс входят аспорогенные дрожжи, которые используются в микробиологической промышленности в качестве продуцентов белка, жира и витаминов.

Размножение грибов проходит двумя способами: вегетативное (деление самой грибницы) и спорами. Размножение спорами может происходить по двум направлениям половое и бесполое.

Грибы выделяют в среду ферменты, которые гидролизуют и окисляют субстрат.

Роль грибов в природе:

- ежегодно в результате воздействия грибов теряется 10 % древесины;
- почвообразующая роль;
- образование симбиоза с растениями.

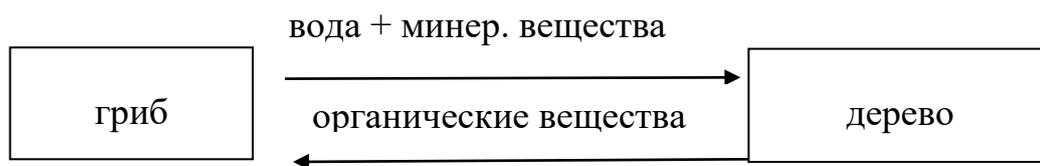


Рис. 16. Схема симбиоза грибов и растений

Роль в биотехнологии:

- производство антибиотиков, органических кислот, спирта, ферментов (плесневые грибы);
- применение в пищевой (хлебопекарная, молочная) промышленности;
- применение высших грибов в качестве пищевого белка.

### 2.3.1. Плесневые грибы и дрожжи

Плесневые грибы образуют тонкие пленки на поверхности субстрата и по строению делятся на одноклеточные (например, мукор) и многоклеточные (например, пенициллиум). Дрожжи также представляют собой микроскопические грибы. С грибами их объединяет клеточная стенка из хитина.

Толщина клеточной стенки зависит от возраста клетки. Массовая доля клеточной стенки в пересчете на сухую массу может составлять 30 %. Одна треть массы приходится на рибосомы. Клеточная стенка – это полисахарид, сама клетка содержит 13 % липидов.

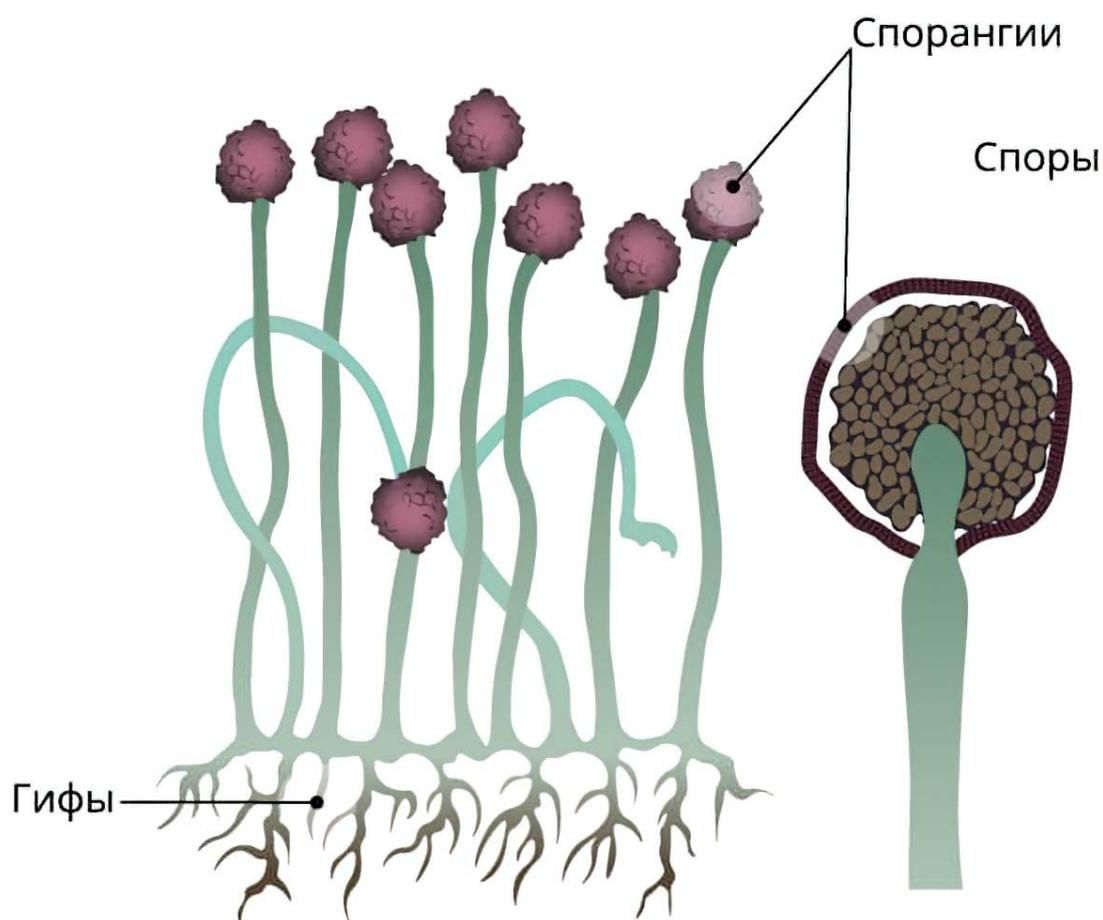


Рис. 17. Плесневые грибы (вид под микроскопом)

### 2.3.2. Классификация дрожжевых организмов

В основу классификации дрожжевых организмов положены способы их размножения, различая физиологические и ряд других признаков.

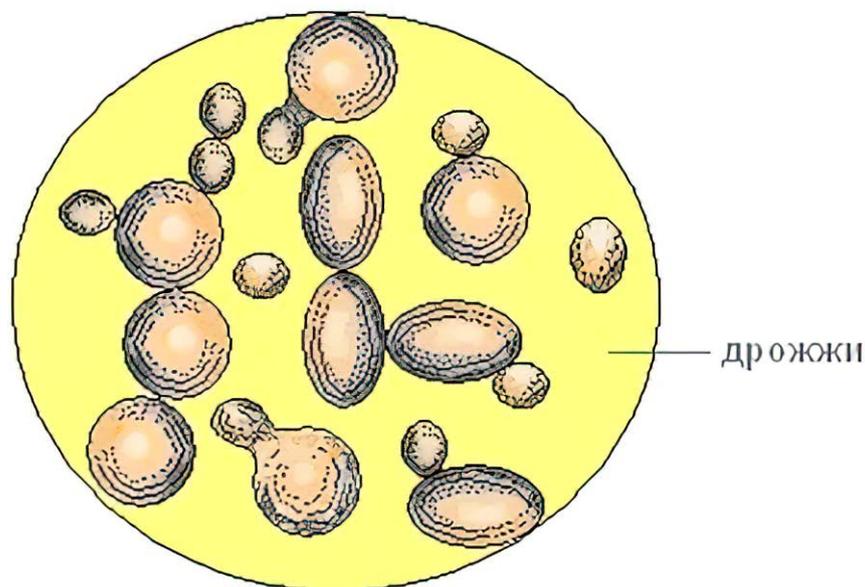


Рис. 18. Дрожжи под микроскопом

Из многочисленных классификаций наиболее обоснованными, простыми и удобными классификациями **аскоспорогенных** (спорообразующих) дрожжей является классификация В. И. Кудрявцева и **аспорогенных** (неспорообразующих) дрожжей Лоддер и Крегер ванн Рий. Аскоспорогенные дрожжи относятся к классу сумчатых грибов и способны к половому размножению. Аспорогенные дрожжи относятся к классу несовершенных грибов, которые аскопор не образуют и лишены полового процесса размножения. Однако последние достижения в микробиологии подтверждают мнения ряда ученых, что несовершенные грибы не полностью лишены полового процесса, у них стадия образования спор не обнаружена или утрачена в процессе эволюции.

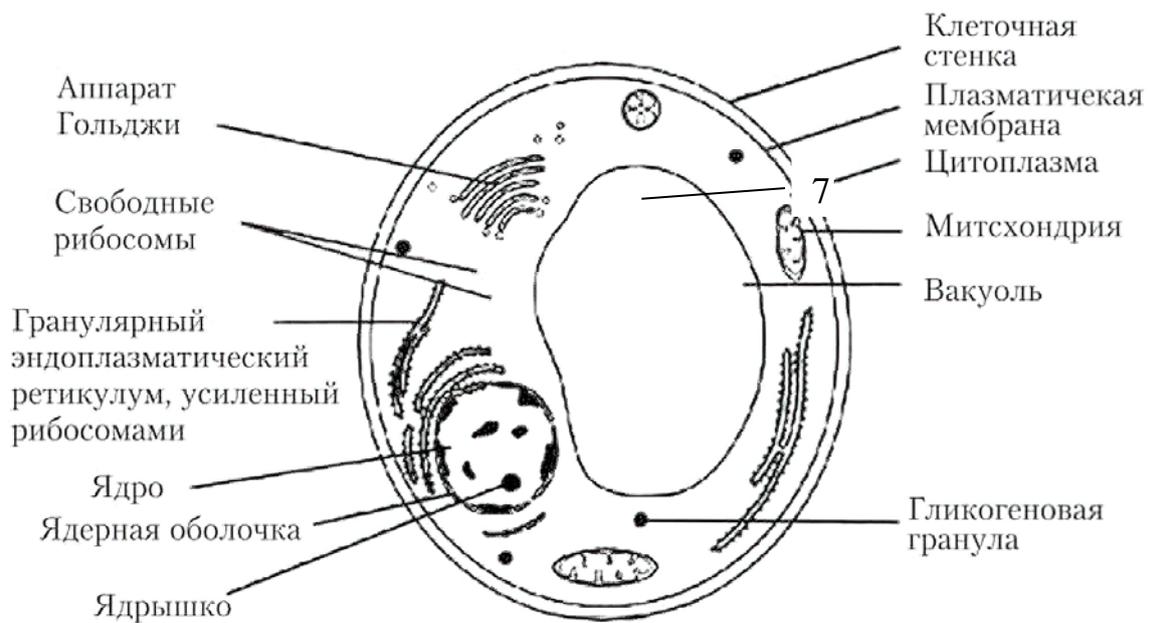


Рис.19. Строение дрожжевой клетки

Разделение дрожжей по родам основано на ряде следующих морфологических и биохимических признаков:

- способность образовывать псевдомицелии;
- характер роста на плотных и жидких средах;
- способность сбраживать и усваивать углеводы и некоторые другие свойства.

**Роль дрожжей в биотехнологии:**

1. Физиологические свойства дрожжей позволяют использовать их в биотехнологии: применять в производстве ферментов, пищевых добавок, для очистки от нефтяных загрязнений, т. к. дрожжевые клетки в качестве источника углерода для роста способны использовать неразветвленные углеводороды с числом от 10 до 30 углеродных атомов в молекуле, при депарафинизации дизельного топлива, использование их в качестве модельных организмов для исследований в генетике и молекулярной биологии.
2. Кроме того, ддрожжи используются как источник кормового белка и для получения спирта.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Виестур, У. Э. Биотехнология. Биологические агенты, технология, аппаратура [Текст] / У. Э. Виестур, И. А. Шмите, А. В. Жилевич; под общ. ред. У. Э. Виестура. – Рига: Зинатне, 1987. – 263 с.
2. Бекер, М. Е. Биотехнология [Текст] / М. Е. Бекер, Г. К. Лиепиньш, Е. П. Райпулис – М.: Агропромиздат, 1990. – 334 с. ISBN 5 – 10 – 001872 – 0.
3. Сазыкин, Ю. О. Биотехнология [Текст]: учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений / Ю. О. Сазыкин, С. Н. Орехов, И. И. Чакалева; под ред. А. В. Катлинского. – 2-е изд., стер. – М.: Издательский центр «Академия», 2007. – 256 с. ISBN 978 – 5 – 7695 – 4040 – 0.
4. Егорова, Т. А. Основы биотехнологии. [Текст]: учеб. пособие для высш. пед. учеб. заведений / Т. А. Егорова, С. М. Клунова, Е. А. Живухина. – М.: Издательский центр «Академия», 2003. – 208 с. ISBN – 5 – 7695 – 1022 – 6.
5. Яценко-Хмелевский, А. А. Основы микробиологии. [Текст]: учеб. пособие / А. А. Яценко-Хмелевский, К. И. Кобак, С. Д. Цветкова. – Л.: ЛТА, 1985, 120 с.
6. Глик, Б. Молекулярная биотехнология. Принципы и применение. [Текст] / Б. Глик, Дж Пастернак. Пер с англ. – М.: Мир 2002, 589 с. ISBN – 5 – 03 – 003328 – 9.
7. Колешко, О. И. Микробиология. [Текст] учеб. пособие / О. И. Колешко. – Минск, «Высшая школа», 1977, 272 с.