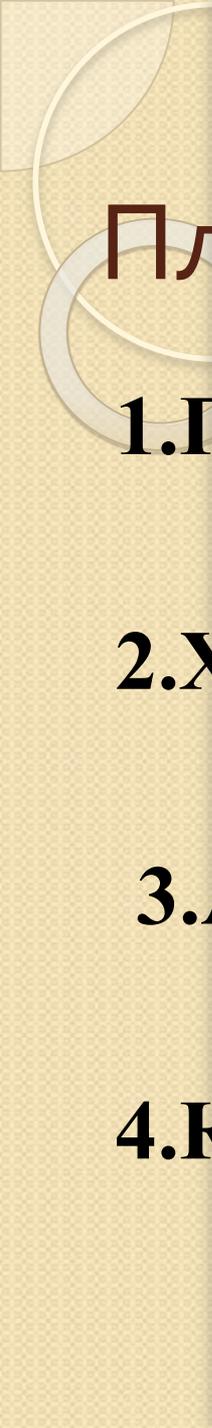




# Физиология микроорганизмов



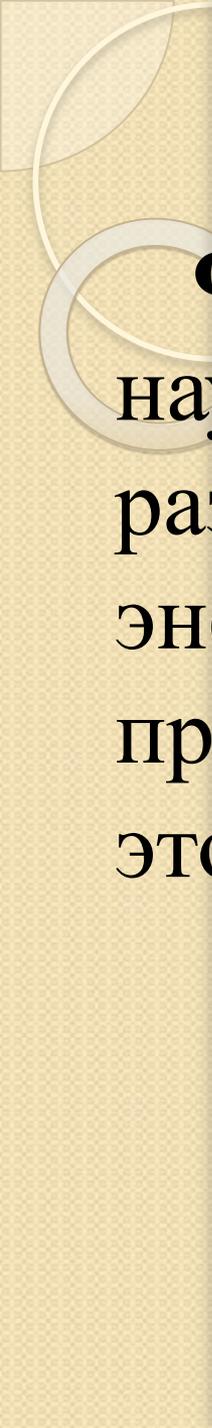
**План:**

**1. Понятие об обмене веществ**

**2. Химический состав микроорганизмов**

**3. Анаболизм**

**4. Катаболизм**



**Физиология микроорганизмов** – наука, изучающая процессы их роста, развития, питания, способы получения энергии для осуществления этих процессов, а также происходящие при этом превращения веществ в клетке

**Обмен веществ (метаболизм) с окружающей средой – это основа жизнедеятельности микроорганизмов.**

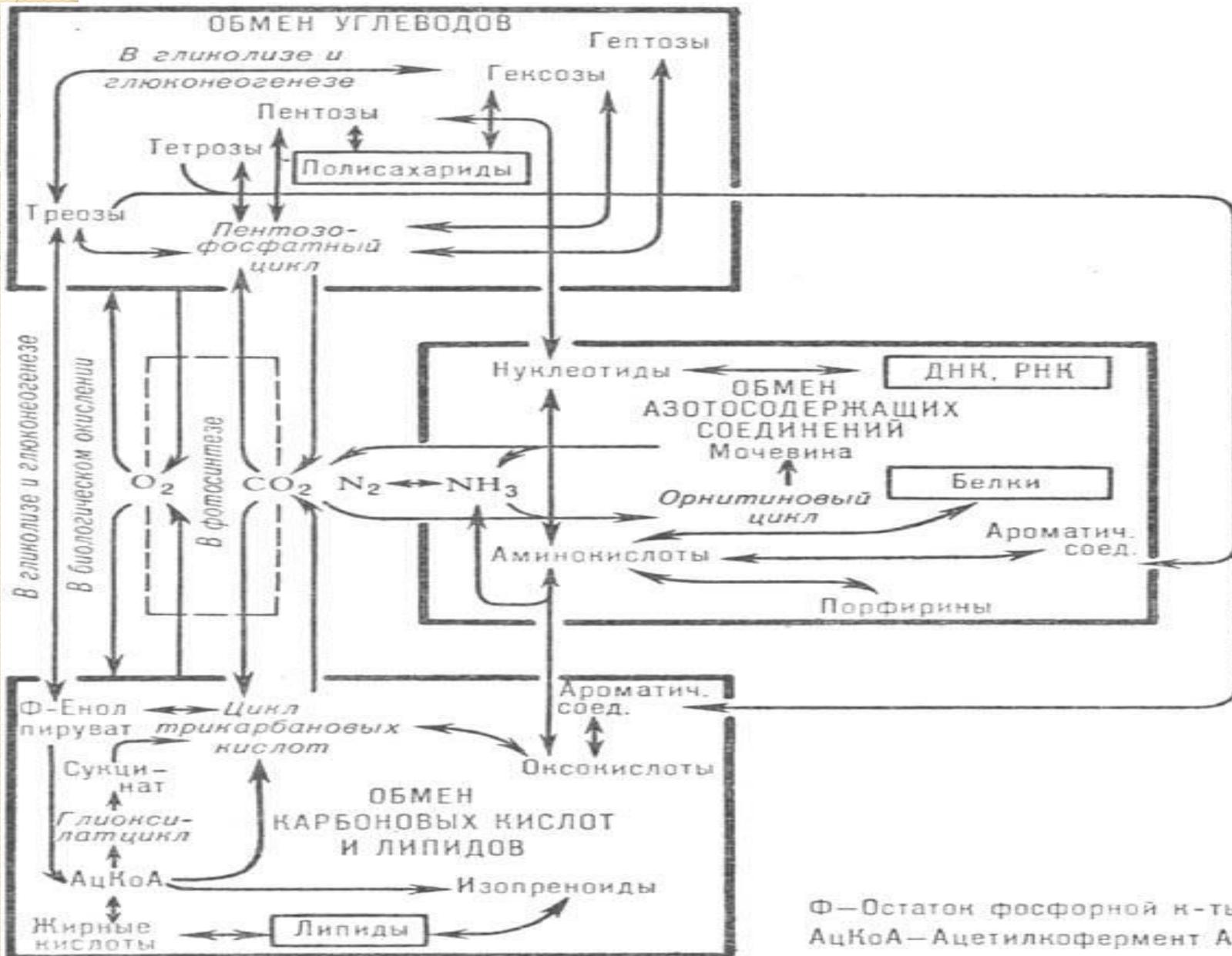
Обмен веществ представляет собой сложный комплекс разнообразных химических превращений веществ пищи, поступающей в организм из внешней среды (из субстрата).

Поступившие в клетку питательные вещества подвергаются «переработке» и из образующихся простых соединений синтезируются сложные клеточные вещества.

Этот процесс называют **анаболизмом** (ассимиляцией), или **строительным** (конструктивным) обменом.

Для осуществления всех жизненных функций (движения, размножения и др.) необходима энергия.

Организм получает её в результате окислительно-восстановительных превращений поступивших в него с пищей органических и неорганических веществ. Этот процесс называют катаболизмом (диссимиляцией), или энергетическим обменом.



Ф — Остаток фосфорной к-ты  
 АцКоА — Ацетилкофермент А

## ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ МИКРООРГАНИЗМОВ

Состав веществ микроорганизмов мало отличается от химического состава тела животных и растений. Важнейшими компонентами клетки являются белки, нуклеиновые кислоты, липиды.

Потребность микроорганизмов в питательных веществах определяется в основном элементарным составом их клеток

Важнейшими химическими макроэлементами, преобладающими в клетках микроорганизмов, являются органические и зольные (минеральные) элементы.

**Органические элементы:** углерод, кислород, водород, азот. Они составляют основу органического вещества. На них приходится 90-97 % сухого вещества.

**Зольные (минеральные) элементы:** сера, хлор, фосфор, калий, магний, натрий, кальций и железо. На их долю приходится 3-10 % сухого вещества.

**Вода** составляет 75-85 % массы клеток.

Часть воды в клетке находится в *связанном* состоянии (с белками, углеводами и другими веществами) и входит в клеточные структуры.

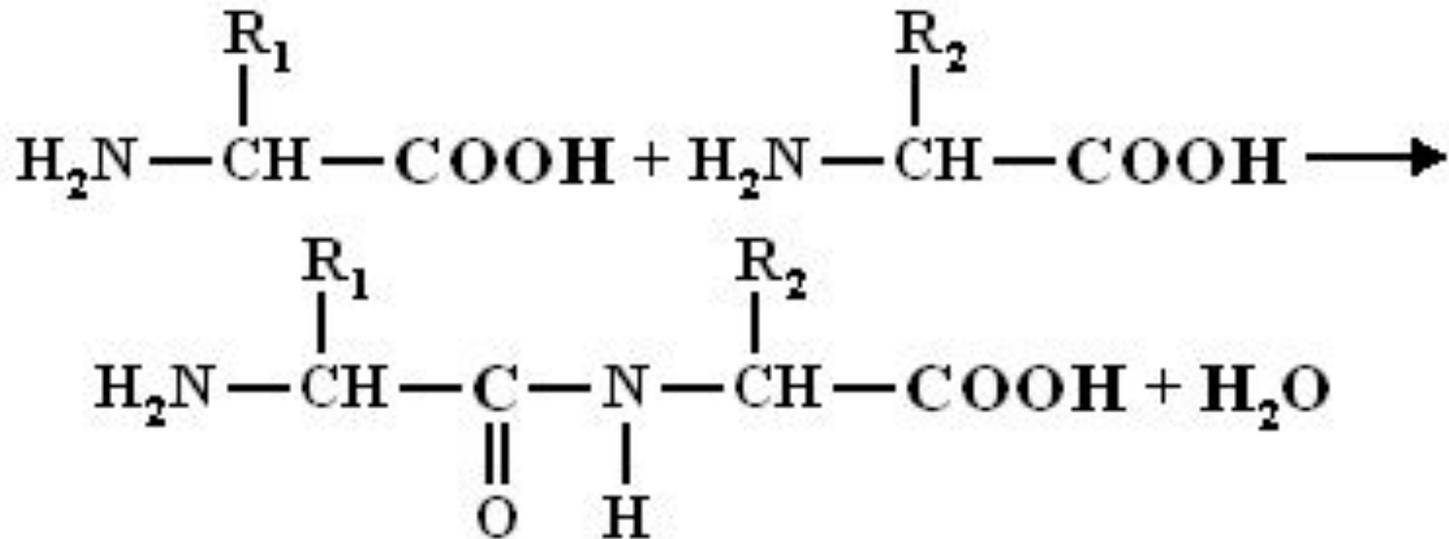
Остальная вода находится в *свободном* состоянии: она служит дисперсной средой для коллоидов и растворителем различных органических и минеральных соединений, образующихся в клетке при обмене веществ.

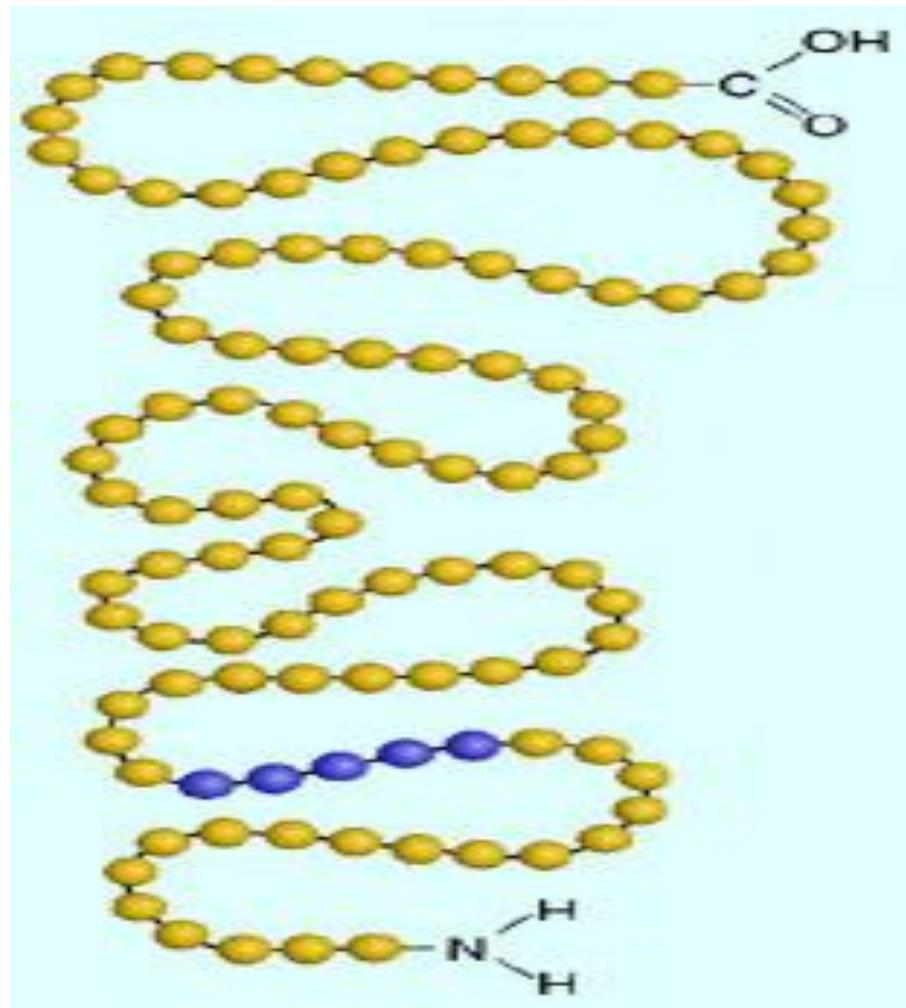
*Сухое вещество* клеток микроорганизмов не превышает 15-25 % и состоит преимущественно (до 85-95 %) из органических соединений – белков, нуклеиновых кислот, углеводов, липидов и др.

**Белковые вещества** являются основными компонентами клетки. Содержание их у бактерий достигает 40-80 % сухого вещества, у дрожжей – 40-60, у грибов – 15-40 %.

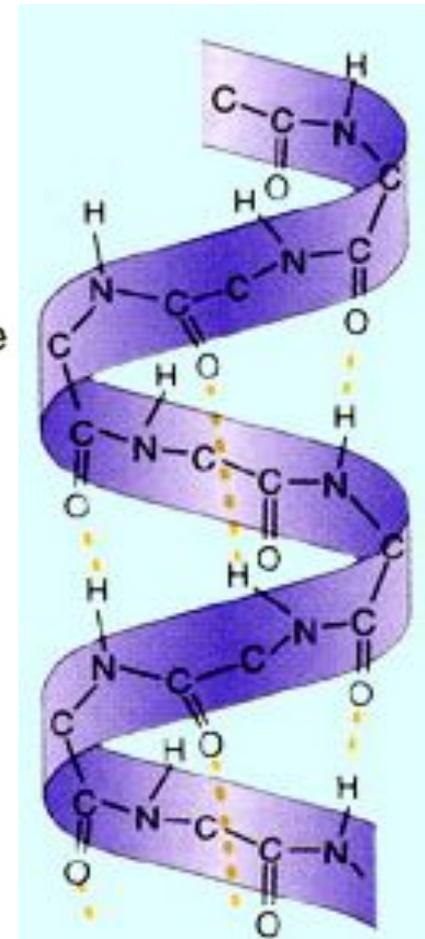
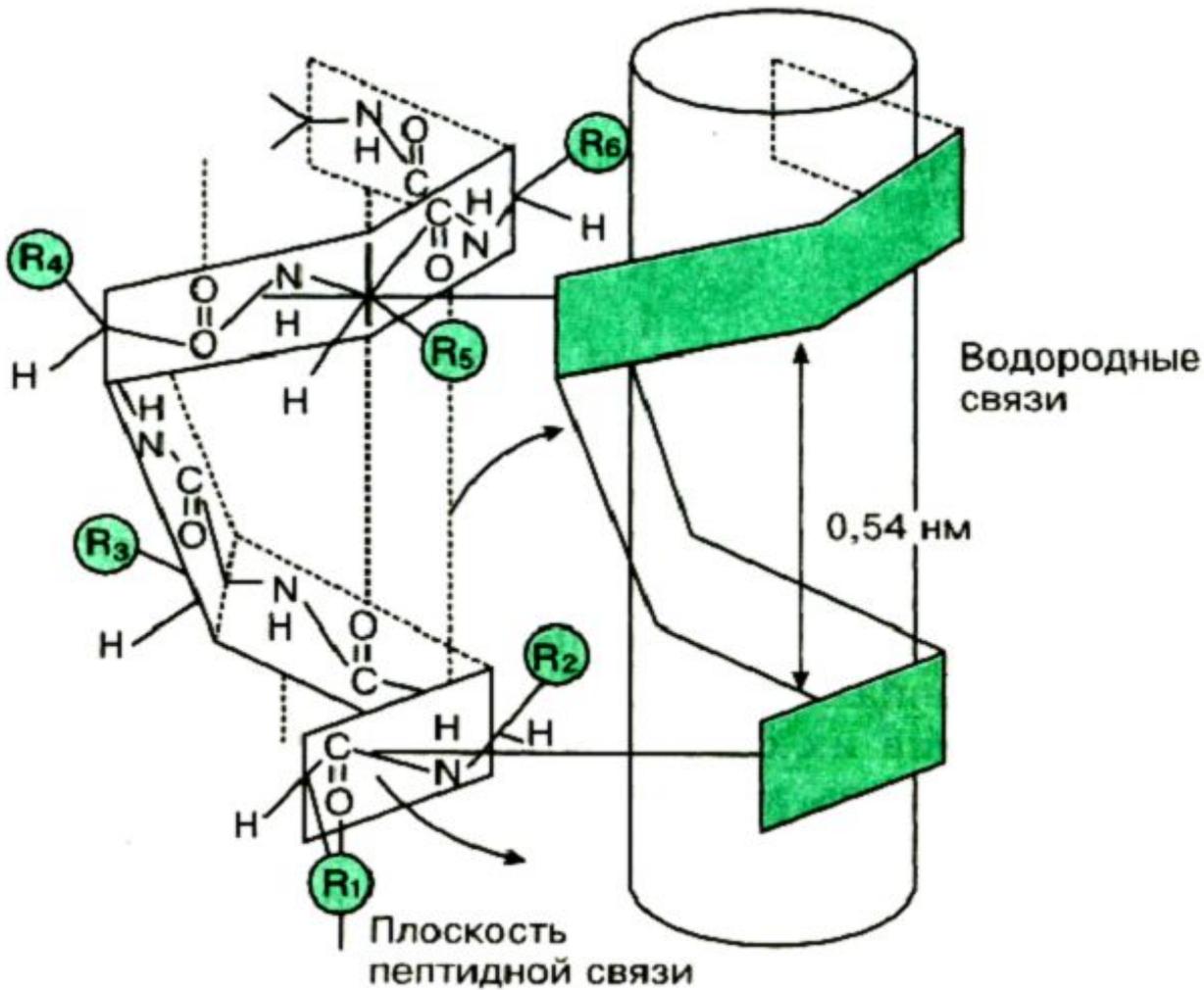
Аминокислотный состав белков микроорганизмов сходен с белками других организмов.

Соединяясь, молекулы аминокислот образуют связи между углеродом кислотной и азотом основной групп. Такие связи называются ковалентными, а в данном случае – **пептидными** связями:

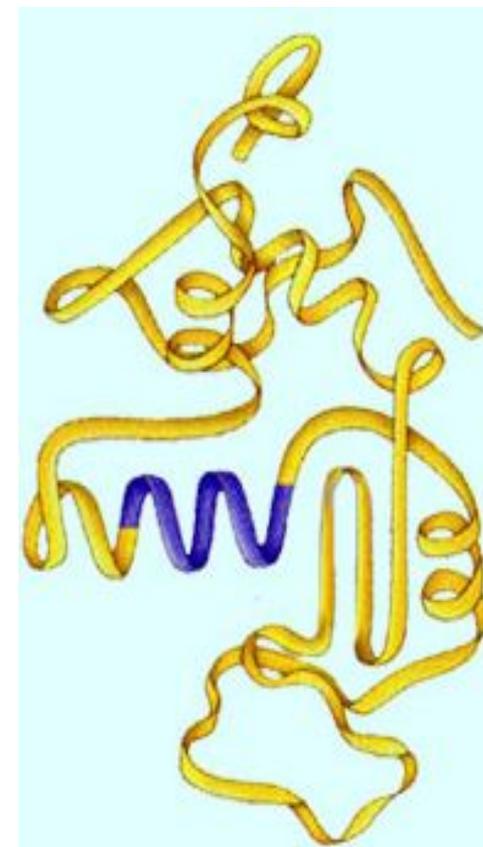
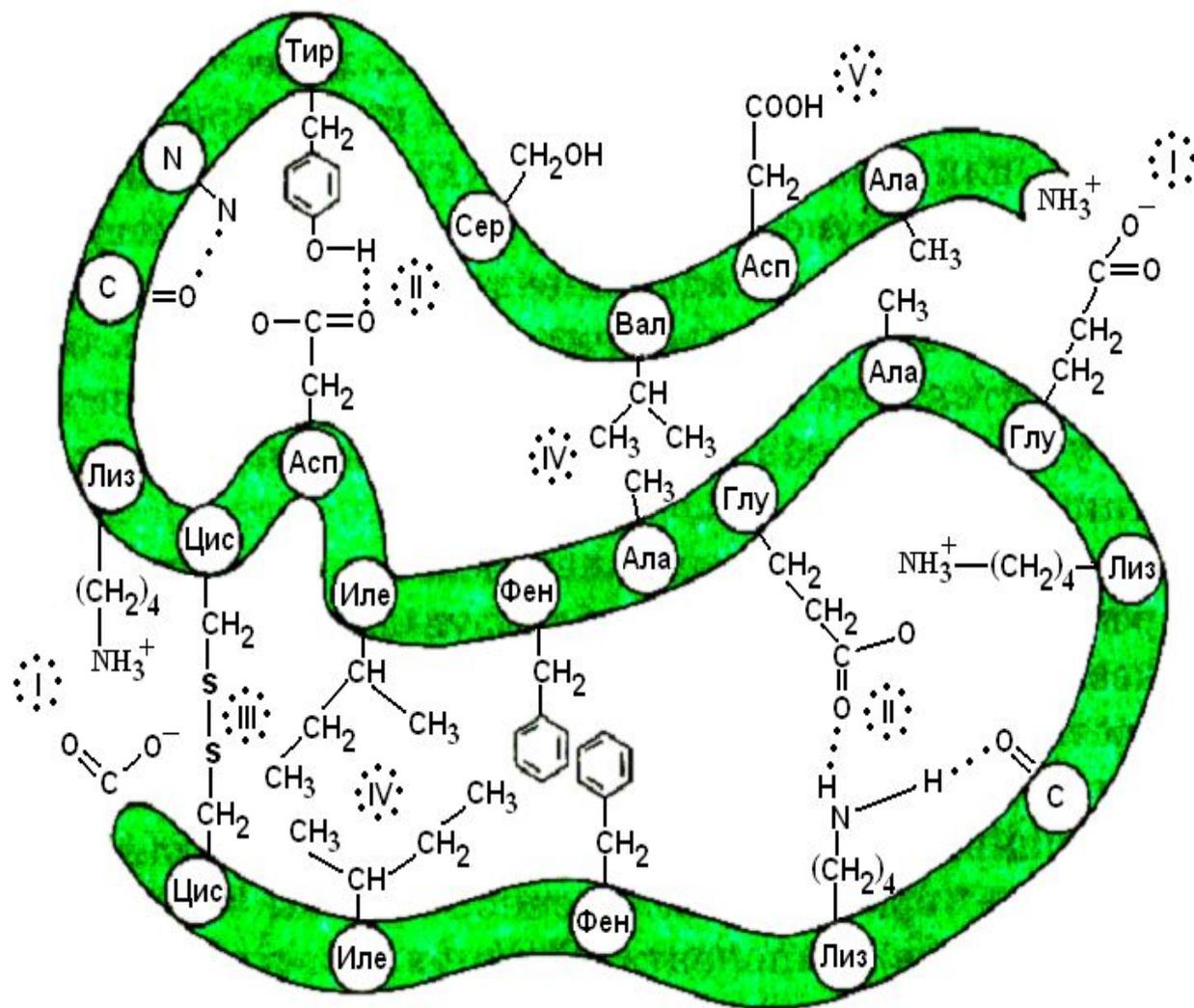




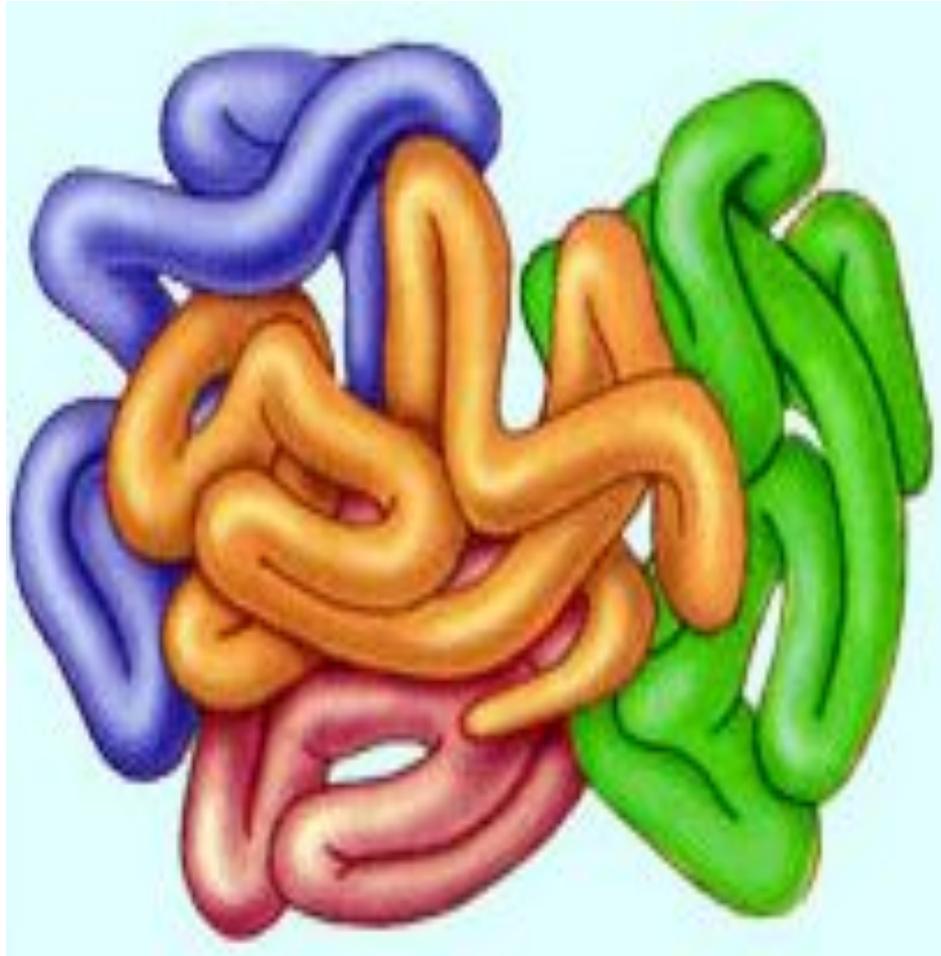
Первичная структура белка (цепочка аминокислот)



Вторичная структура белка –  $\alpha$ -структура ( $\alpha$ -спираль)



Третичная структура белка; I – ионные взаимодействия, II – водородные связи, III – дисульфидные связи, IV – гидрофобные взаимодействия, V – гидратируемые группы



Четвертичная структура белка (клубок белков)



**Двигательная функция живых организмов обеспечивается специальными сократительными белками. Эти белки участвуют во всех видах движения, к которым способны клетки и организмы: мерцание ресничек и биение жгутиков у простейших, движение листьев у растений и др.**

**Функции белков.** Функции белков в клетке чрезвычайно многообразны. Одна из важнейших – **пластическая (строительная) функция**: белки участвуют в образовании всех клеточных мембран и органоидов клетки, а также внеклеточных структур.

Исключительно важное значение имеет **каталитическая роль белков.**



- **Транспортная функция белков**

заключается в присоединении химических элементов (например, кислорода гемоглобином) или биологически активных веществ (гормонов) и переносе их к различным тканям и органам тела.

- Белки могут служить одним из источников энергии в клетке, т.е. выполняют **энергетическую функцию.**

**Минеральные вещества** составляют не более 5–15 % сухого вещества клетки. Они представлены солями – сульфатами, фосфатами, карбонатами, хлоридами и др.

От концентрации солей внутри клетки зависят буферные свойства клетки

В животной клетке **углеводы** находятся в количествах, не превышающих 1–2, иногда 5%. Наиболее богаты углеводами растительные клетки, где их содержание в некоторых случаях достигает 90% сухой массы (клубни картофеля, семена и т. д.). Углеводы бывают простыми и сложными.

### **Функции углеводов:**

являются источником углерода;  
обеспечивают до 70 % потребности организма в энергии;

**Резервная.** В клетках большинства бактерий углеводы составляют 10–30 % сухого вещества, у грибов – 40–60 %;

**Структурная:** *хитин* образует прочный остов у грибов; в клеточных стенках бактерий в качестве стабилизирующего структурного компонента присутствует *муреин*;

Участие в образовании гибридных (комплексных) молекул, выполняют рецепторную, каталитическую и другие функции

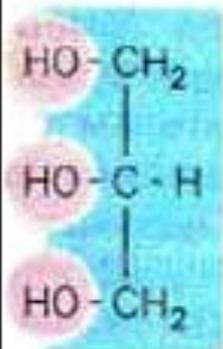
**Жиры (липиды)** представляют собой соединения высокомолекулярных жирных кислот и трёхатомного спирта глицерина. Три остатка жирной кислоты могут различаться как по длине цепи, так и по числу двойных связей.

Липиды в клетках большинства микроорганизмов составляют 3–10 % сухого вещества. Лишь у некоторых дрожжей и плесеней количество липидов может быть значительно выше – до 40–60 %.

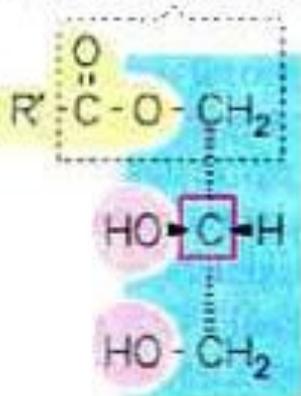
# Структура жиров

образование  
сложноэфирной связи

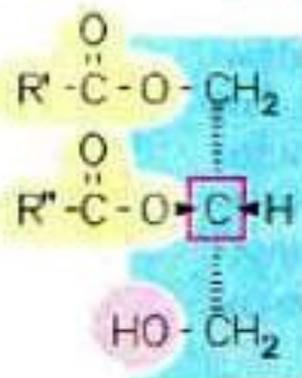
хиральный центр



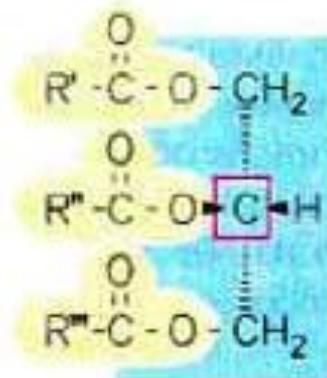
глицерин



моноацилглицерин



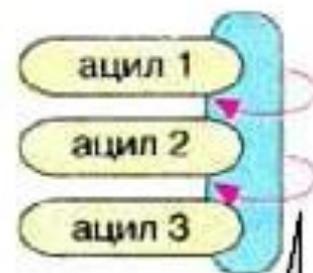
диацилглицерин



триацилглицерин  
(жир)

жирные кислоты глицерин

вандерваальсова  
модель молекулы  
триацилглицеринов



вращение вокруг  
связи C-C

Липиды входят в состав цитоплазматической мембраны и в состав других мембран, а также откладываются в виде **запасных** гранул. Благодаря плохой теплопроводности жир способен выполнять функцию **теплоизолятора**.

Важна роль жиров и как **растворителей** гидрофобных органических соединений, необходимых для нормального протекания биохимических превращений.

Одна из основных функций жиров – **энергетическая**.

Все разнообразные и многочисленные биохимические реакции, протекающие в живом организме в связи с его обменом веществ, ростом и развитием, совершаются при участии **ферментов** – биологических катализаторов, вырабатываемых клетками организма.

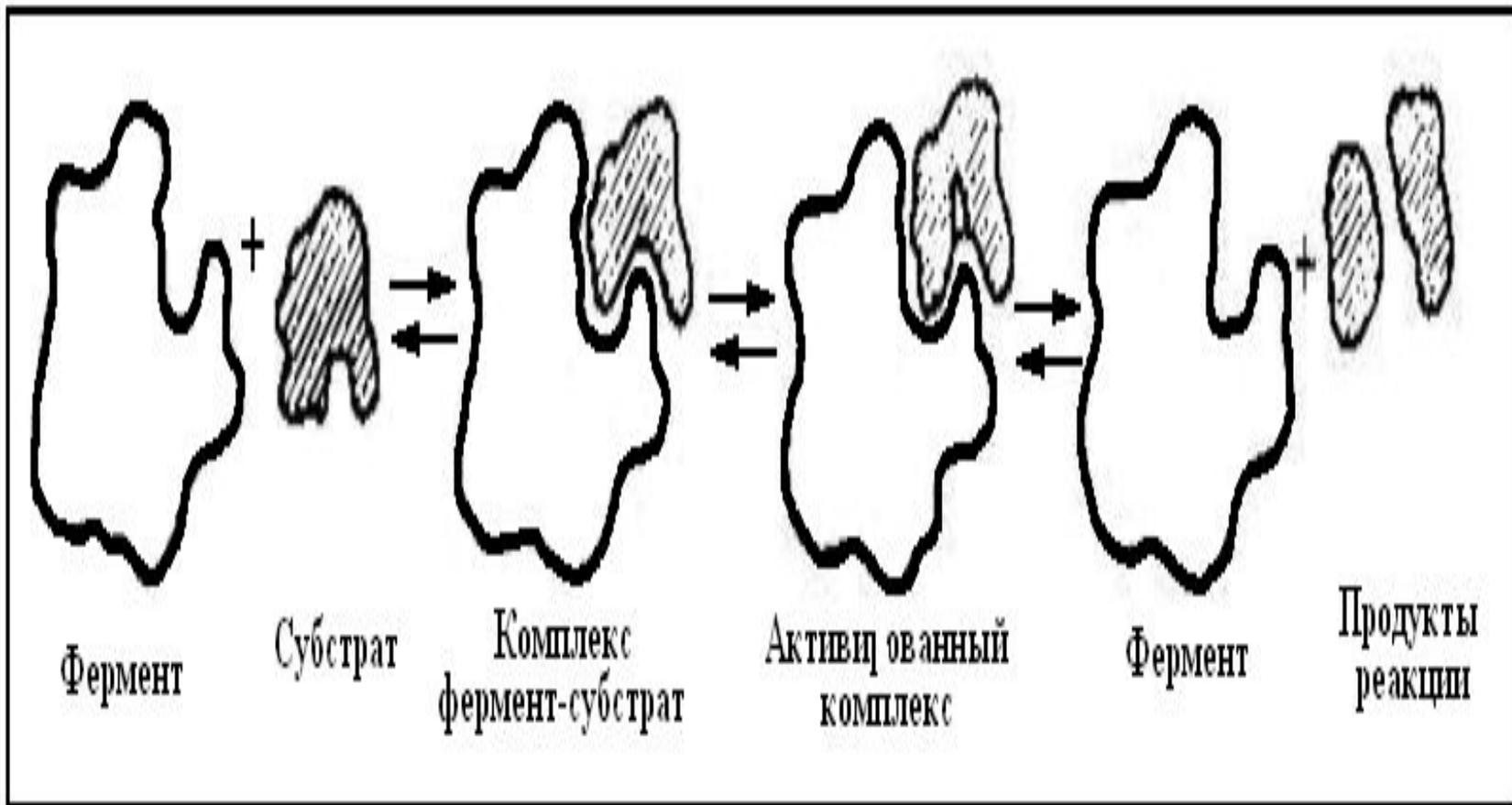
Ферменты представляют собой белки простые (протеины) или сложные (протеиды), состоящие из белка и небелкового компонента, называемого простетической (активной) группой. Таким образом, есть ферменты однокомпонентные и двухкомпонентные

# Ферментативная активность

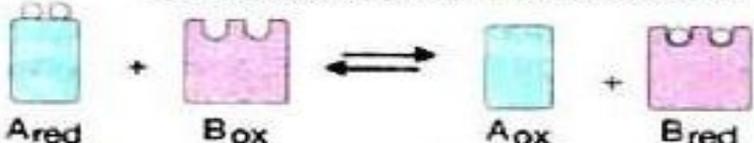
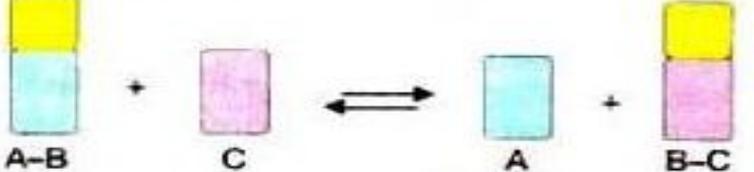
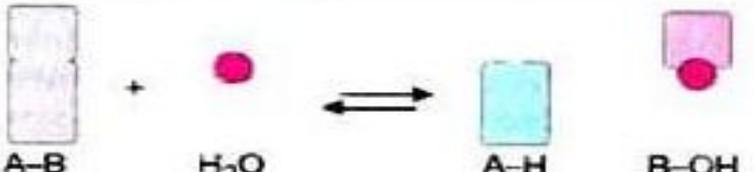
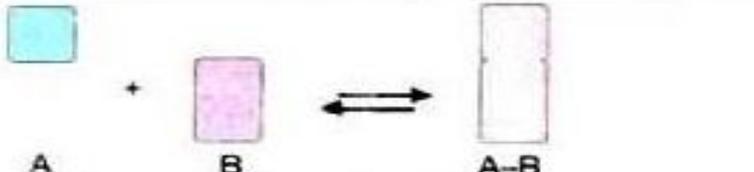
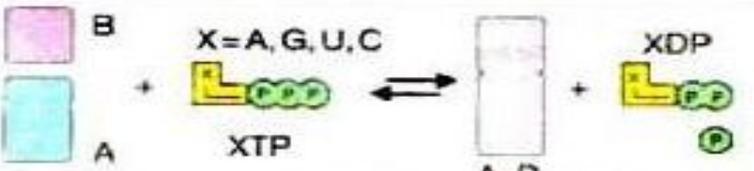


**1 катал (кат):** количество фермента,  
которое увеличивает  
превращение субстрата  
на 1 моль/с

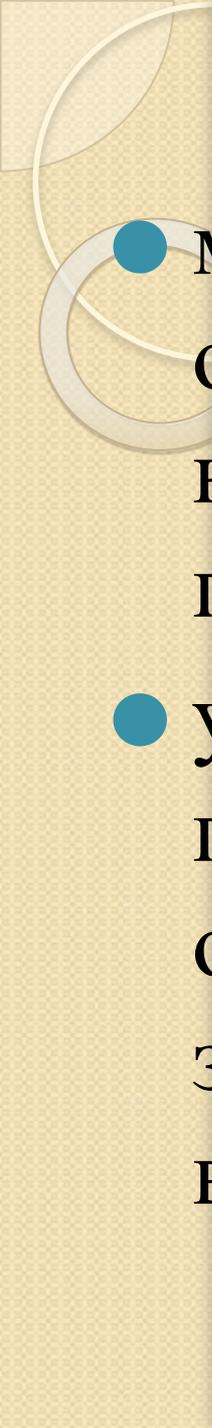
## Схема взаимодействия фермента с субстратом



## Классы ферментов

Класс	Тип реакции	Важнейшие подклассы
Оксидо – редуктазы	<p style="text-align: center;">○ = Восстановительный эквивалент</p>  <p style="text-align: center;"><math>A_{red} + B_{ox} \rightleftharpoons A_{ox} + B_{red}</math></p>	<p>Дегидрогеназы Оксидазы, пероксидазы Редуктазы Моноксигеназы, диоксигеназы</p>
Трансферазы	 <p style="text-align: center;"><math>A-B + C \rightleftharpoons A + B-C</math></p>	<p>C<sub>1</sub>-Трансферазы Гликозилтрансферазы Аминотрансферазы Фосфотрансферазы</p>
Гидролазы	 <p style="text-align: center;"><math>A-B + H_2O \rightleftharpoons A-H + B-OH</math></p>	<p>Эстеразы Гликозидазы Пептидазы Амидазы</p>
Лиазы (синтазы)	 <p style="text-align: center;"><math>A + B \rightleftharpoons A-B</math></p>	<p>C-C- Лиазы C-O- Лиазы C-N- Лиазы C-S- Лиазы</p>
Изомеразы	 <p style="text-align: center;"><math>A \rightleftharpoons \text{изо-}A</math></p>	<p>Эпимеразы цис-транс-Изомеразы Внутримолекулярные трансферазы</p>
Лигазы (синтетазы)	 <p style="text-align: center;"><math>A + B + XTP \rightleftharpoons A-B + XDP</math> X=A, G, U, C</p>	<p>C-C- Лигазы C-O- Лигазы C-N- Лигазы C-S- Лигазы</p>

- Использование микроорганизмов для получения ферментов имеет ряд преимуществ по сравнению с растительным и животным сырьём:
- микроорганизмы обладают богатым «ассортиментом» ферментов. Среди них есть такие, которые отсутствуют у животных и в растениях;
- микроорганизмы быстро размножаются и в течение короткого времени дают огромную массу клеток, из которых (или из культуральной среды) можно выделить большое количество фермента;

- 
- микроорганизмы растут на относительно дешёвых субстратах, например на отходах различных промышленных производств;
  - управлять развитием микроорганизмов при современном аппаратурном оформлении таких производств значительно легче и проще, чем выращивать растения и животных.

## АНАБОЛИЗМ

*Процесс, в ходе которого бактериальная клетка получает из окружающей среды компоненты, необходимые для построения ее биополимеров (органовидов), называется **питанием**.*

*Бактериальные клетки не имеют специальных органов питания, т. е. являются **голофитными**.*

***Поступление питательных веществ в микробную клетку может происходить за счет:***

- *осмоса и диффузии по градиенту концентрации без затрат энергии;*
- *пассивного транспорта, который также осуществляется по градиенту концентрации с помощью белков-переносчиков, но без затрат клеткой энергии, и отличается от диффузии большей скоростью;*
- *активного транспорта, который идет против градиента концентрации с затратой энергии и возможным частичным расщеплением субстрата, осуществляется белками-переносчиками или ферментами — пермеазами.*

# Питание бактерий

По характеру использования  
источника энергии

**Фото  
трофы**

**Хемо  
трофы**

По характеру  
усвоения углевода

**Авто  
трофы**

**Гетеротрофы**

По характеру  
усвоения азота

**Амино  
трофы**

**Амино  
гетеротрофы**

**Источники углерода.** В зависимости от используемого в конструктивном обмене источника углерода микроорганизмы делят на две группы: автотрофы и гетеротрофы.

*Автотрофы* (*autos* – сам, *trophe* – пища; питающиеся самостоятельно) в качестве единственного источника углерода для синтеза органических веществ тела используют углекислый газ ( $\text{CO}_2$ ).

*Гетеротрофы* (*heteros* – другой; питающиеся другими) не могут использовать в качестве источника углерода только углекислый газ; они нуждаются в готовых органических соединениях.

Автотрофы для превращения не имеющей энергетической ценности углекислоты в органические вещества нуждаются в постороннем источнике энергии.

Одни автотрофы в этих целях используют световую энергию — этот процесс называется *фотосинтезом*.

Другие используют химическую энергию, высвобождающуюся при окислении простых неорганических соединений, — этот процесс называется *хемосинтезом*. Открыт он был С.Н. Виноградским.

Фотоавтотрофы для синтеза органических веществ используют световую энергию и неорганический источник углерода (CO<sub>2</sub>). К ним относятся цианобактерии, пурпурные и зелёные серные бактерии. Это преимущественно водные бактерии, в них содержатся различные пигменты (каротиноидные, бактериохлорофиллы), поглощающие свет.

Фотогетеротрофы для синтеза органических веществ используют световую энергию и простые органические соединения.

Хемоавтотрофы в качестве источника углерода для синтеза органических веществ используют углекислоту, а в качестве источника энергии – реакции окисления неорганических соединений.

Хемоорганотрофы (хемотротрофы) в качестве источников энергии и углерода используют органические соединения.

Таким типом питания обладают многочисленные бактерии, грибы, дрожжи.

Одни хемотротрофы непритязательны в отношении питательных веществ источников углерода, другие проявляют большую специфичность.

Наиболее специфичными являются микробы-паразиты, живущие в теле другого организма – хозяина, питающиеся веществами его тела. К паразитам относятся возбудители заболеваний человека, животных, растений.

Большинство хемогетеротрофных микроорганизмов живёт за счёт использования органических веществ различных субстратов животного и растительного происхождения. Такие микроорганизмы называют сапрофитами.

## **Источники азота.**

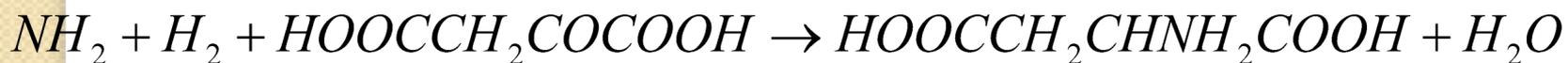
Все автотрофные микроорганизмы усваивают азот из неорганических соединений.

У хемогетеротрофов по отношению к источнику азота, как и по отношению к источнику углерода, проявляется избирательность.

*Паразиты* используют органические азотсодержащие вещества клеток хозяина.

Источником азота для *сапрофитов* могут служить как органические, так и неорганические азотсодержащие соединения

Они дезаминируют взятые аминокислоты, а образующийся аммиак используют в реакциях аминирования оксикислот или чаще кетокислот, например:



Синтез новых аминокислот может протекать и без дезаминирования взятых из субстрата аминокислот (без промежуточного образования аммиака) путём перестройки их (переаминирования) – переноса аминогруппы с аминокислоты на кетокислоты при участии ферментов аминотрансфераз



Существуют сапрофиты, которые используют свободный азот атмосферы. Они переводят его в связанное состояние – восстанавливают в аммиак. Эти микроорганизмы называют азотфиксаторами или азотсобирателями.

Специфичностью отношений микроорганизмов к источникам углерода и азота определяется круговорот этих элементов в природе. Эта особенность гетеротрофов проявляется и при порче многих пищевых продуктов, при смене развития одних форм другими.

# КАТАБОЛИЗМ

Процессы анаболизма (конструктивного обмена) протекают с затратой энергии.

**Источники энергии** у микроорганизмов разнообразны.

У **фотоавтотрофов** источником энергии служит видимый свет.

**Хемоорганотрофы** (хемогетеротрофы) получают энергию в процессах окисления органических соединений.

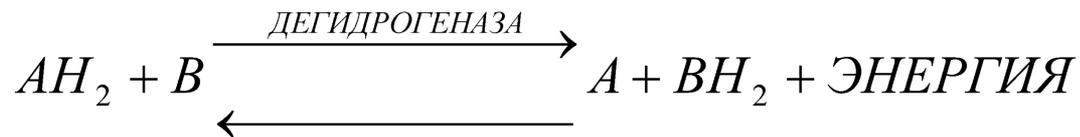
Окисление органических веществ может происходить различными путями:

**прямым**, т.е. присоединением к веществу кислорода;

**непрямым**, т.е. дегидрогенерированием (отнятием водорода). Отнятый от окисляемого вещества водород переносится на другое вещество, которое при этом восстанавливается;

**путём переноса электронов** от одного вещества к другому. Вещество, теряющее электроны, окисляется, а присоединяющее их — восстанавливается.

Перенос водорода (электрона) от подвергающегося окислению вещества к акцептору осуществляется различными окислительно-восстановительными ферментами. Реакцию окисления-восстановления можно изобразить следующим образом



Конечным акцептором водорода может быть кислород воздуха или другое вещество, способное восстанавливаться.

В зависимости от конечного акцептора водорода хемоорганотрофные микроорганизмы делят на две группы:

*аэробы*, окисляющие органические вещества с использованием молекулярного кислорода, который и является конечным акцептором водорода;

*анаэробы*, которые в энергетических процессах не используют кислород. Конечными акцепторами водорода служат органические или неорганические соединения.

**Анаэробные микроорганизмы**, к которым относят многие бактерии и некоторые дрожжи, получают необходимую для жизнедеятельности энергию в процессе *брожения*. Этот энергодающий процесс протекает также путём сопряжённого окисления-восстановления, но без участия кислорода воздуха.

Анаэробные микроорганизмы подразделяют на *облигатные*, или *безусловные*, анаэробы, для которых кислород не только не нужен, но и вреден, и *факультативные*, или *условные*, анаэробы, которые могут жить как при доступе воздуха, так и без него.

Степень анаэробности у факультативных анаэробов различна. Одни из них лучше развиваются в анаэробных условиях или при ничтожно малом содержании кислорода в среде (микроаэрофилы), другие – при доступе воздуха. Известны факультативные анаэробы (например, некоторые дрожжи), способные в зависимости от условий развития переключаться с анаэробного на аэробный тип получения энергии.

Примерами такого типа получения энергии могут служить следующие виды брожения.

*Спиртовое брожение* осуществляется многими дрожжами в анаэробных условиях. Молекула глюкозы (энергетический материал) в этом процессе превращается в две молекулы этилового спирта и две молекулы углекислого газа с выделением энергии

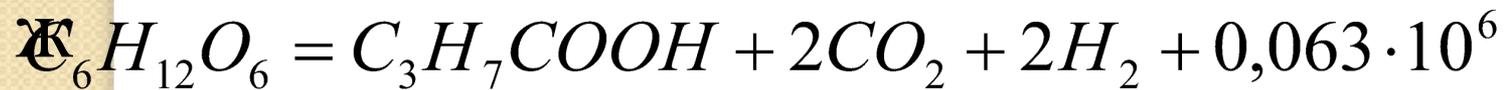
$$C_6H_{12}O_6 = 2C_2H_5OH + 2CO_2 + 0,1 \cdot 10^6$$

Дж

*Молочнокислое брожение* – это процесс получения энергии молочнокислыми бактериями, заключающийся в превращении молекулы сахара в две молекулы молочной кислоты с выделением энергии:



*Маслянокислое брожение* вызывается облигатно анаэробными маслянокислыми бактериями. Глюкоза в этом энергодающем процессе превращается в масляную кислоту, водород и углекислый газ:



Д

В анаэробных условиях некоторые микроорганизмы могут при окислении органических веществ использовать неорганические акцепторы водорода (электроны), которые при этом восстанавливаются. Эти микроорганизмы используют, следовательно, в качестве окислителя не свободный, а связанный кислород неорганических веществ, богатых этим элементом.

Такой способностью обладают, например, денитрифицирующие бактерии, восстанавливающие нитраты до свободного азота. Этот способ получения энергии называют *нитратным дыханием*.

Десульфатирующие бактерии используют в качестве конечного акцептора электронов (водорода) сульфаты, восстанавливая их до сероводорода, — *сульфатное дыхание*.

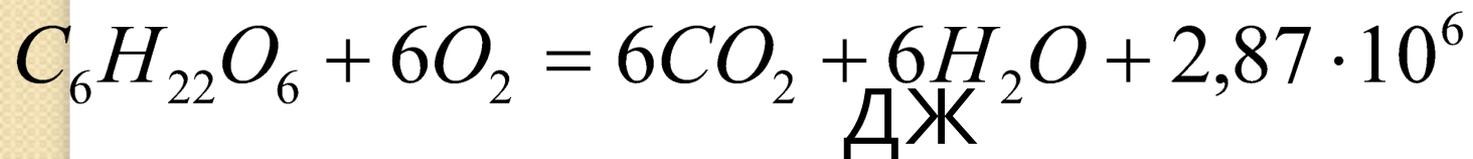
# Аэробные микроорганизмы

Многие аэробные микроорганизмы, к которым относят грибы, некоторые дрожжи и многие бактерии, подобно высшим организмам (растениям, животным), окисляют органические вещества полностью до минеральных веществ – углекислого газа и воды. Процесс этот называется *дыханием*.

В качестве энергетического материала в процессе дыхания микроорганизмы часто используют углеводы.

При этом сложные (ди-, три- и полисахариды) ферментативным путём гидролизуются до моносахаров, которые и подвергаются окислению.

Этот процесс в общем виде может быть представлен следующим уравнением:



Известно несколько путей расщепления глюкозы до этого важнейшего промежуточного продукта.

Одним из таких путей является распад глюкозы, называемый *гликолитическим*.

*Гликолиз* (от греч. glykos – сладкий и lysis – растворение).

Гликолиз является основным путём катаболизма глюкозы в любом живом организме

Фосфотриозный путь – анаэробный ферментативный процесс последовательного расщепления глюкозы в клетках, сопровождающийся синтезом АТФ и завершающийся образованием пировиноградной кислоты (пирувата) – *аэробный гликолиз* или молочной кислоты (лактата) – *анаэробный гликолиз*.

Гликолиз является основным путём катаболизма глюкозы в любом живом организме.



## Цикл Кребса – цикл трикарбоновых кислот (ЦТК)

- характерен для аэробных микроорганизмов;
- окисление одной молекулы пировиноградной кислоты сопровождается выделением трех молекул  $\text{CO}_2$  и пяти пар водородных атомов;



- водород, при помощи коферментов НАД и НАД (Ф), включается в «дыхательную цепь», состоящую из ферментов и присоединяется к акцептору – молекулярному кислороду;
- в результате энергетического обмена у аэробных микроорганизмов из одной молекулы  $C_6H_{12}O_6$  образуется 38 молекул АТФ, которые используются для конструктивного обмена;
- АТФ – универсальный аккумулятор химической энергии;
- образование АТФ происходит в мезосомах и митохондриях

- у анаэробов, в результате расщепления одной молекулы глюкозы образуется 2 молекулы АТФ, а вся оставшаяся энергия остается в виде веществ;
- у аэробов - образуется 38 молекул АТФ, а остальные - 50% теряются в виде тепла - отсюда самосогревание продуктов и их порча, а также выделяются в виде световой энергии (свечение воды, сгнившего дерева, рыбы...).