

# Биохимия и молекулярная биология

*Лекция 1. Обмен веществ и  
энергии в живых системах.  
Обмен углеводов.*

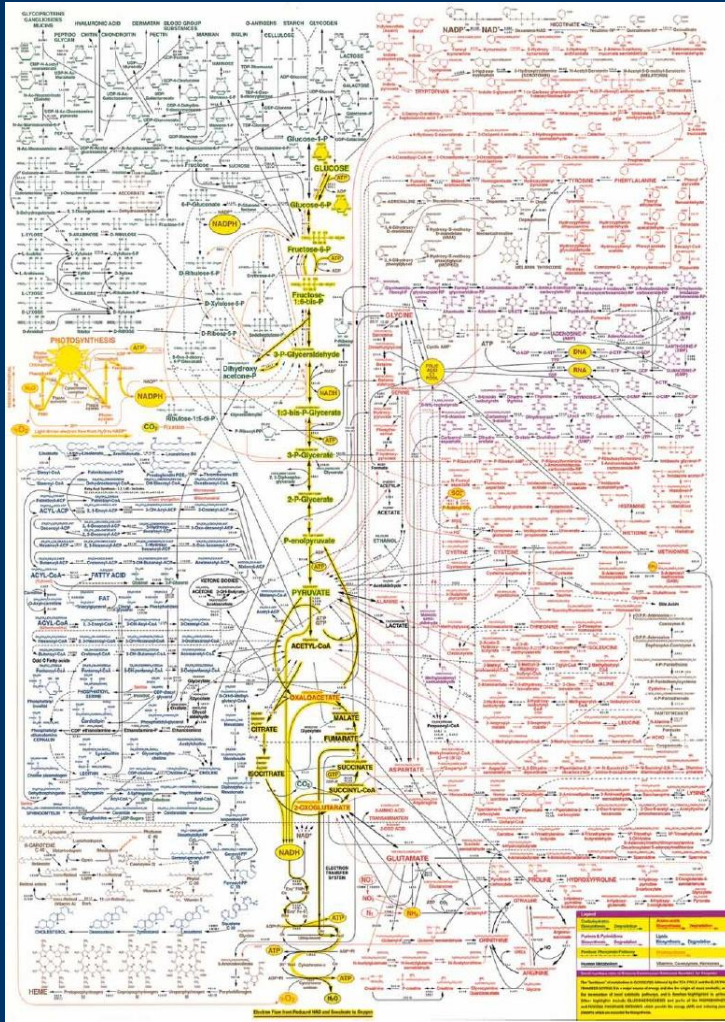
# План лекции

- **Понятие метаболизма. Центральные и специальные метаболические пути**
- **Катаболические, анаболические, амфиболические пути**
- **Обмен углеводов**
- **Расщепление углеводов в желудочно-кишечном тракте.**
- **Всасывание моносахаридов в тонком кишечнике и их дальнейший транспорт. Глюкозные транспортеры.**

# Понятие метаболизма

## Понятие метаболизма

*Метаболизм* – от греческого “*менять*” (*обмен веществ*) представляет собой совокупность всех химических реакций, происходящих в организме.



**Обмен веществ и энергии в живых системах. Обмен углеводов**

**Метаболизм выполняет четыре специфические функции:**

**1) снабжение химической энергией, которая извлекается из богатых энергией пищевых веществ, поступающих в организм из среды, или путем преобразования улавливаемой энергии солнечного света;**

**2) превращение молекул пищевых веществ в строительные блоки;**

**3) синтез белков, нуклеиновых кислот, липидов, полисахаридов и прочих клеточных компонентов из этих строительных блоков;**

**4) синтез и расщепление тех биомолекул, выполняют какие-либо специфические функции данной клетки.**

В обмене веществ выделяют внешний и промежуточный обмен:

- *Внешний обмен* – внеклеточное переваривание веществ при поступлении и выделении из организма.
- *Промежуточный обмен* - превращение веществ внутри клеток с момента их поступления до образования конечных продуктов.

Попав внутрь клетки, питательное вещество метаболизируется, то есть претерпевает ряд химических изменений, которые катализируются ферментами.

Определённая последовательность таких химических изменений называется *метаболическим путём*, а образующиеся промежуточные продукты – метаболитами.

Существуют разные типы метаболических путей.

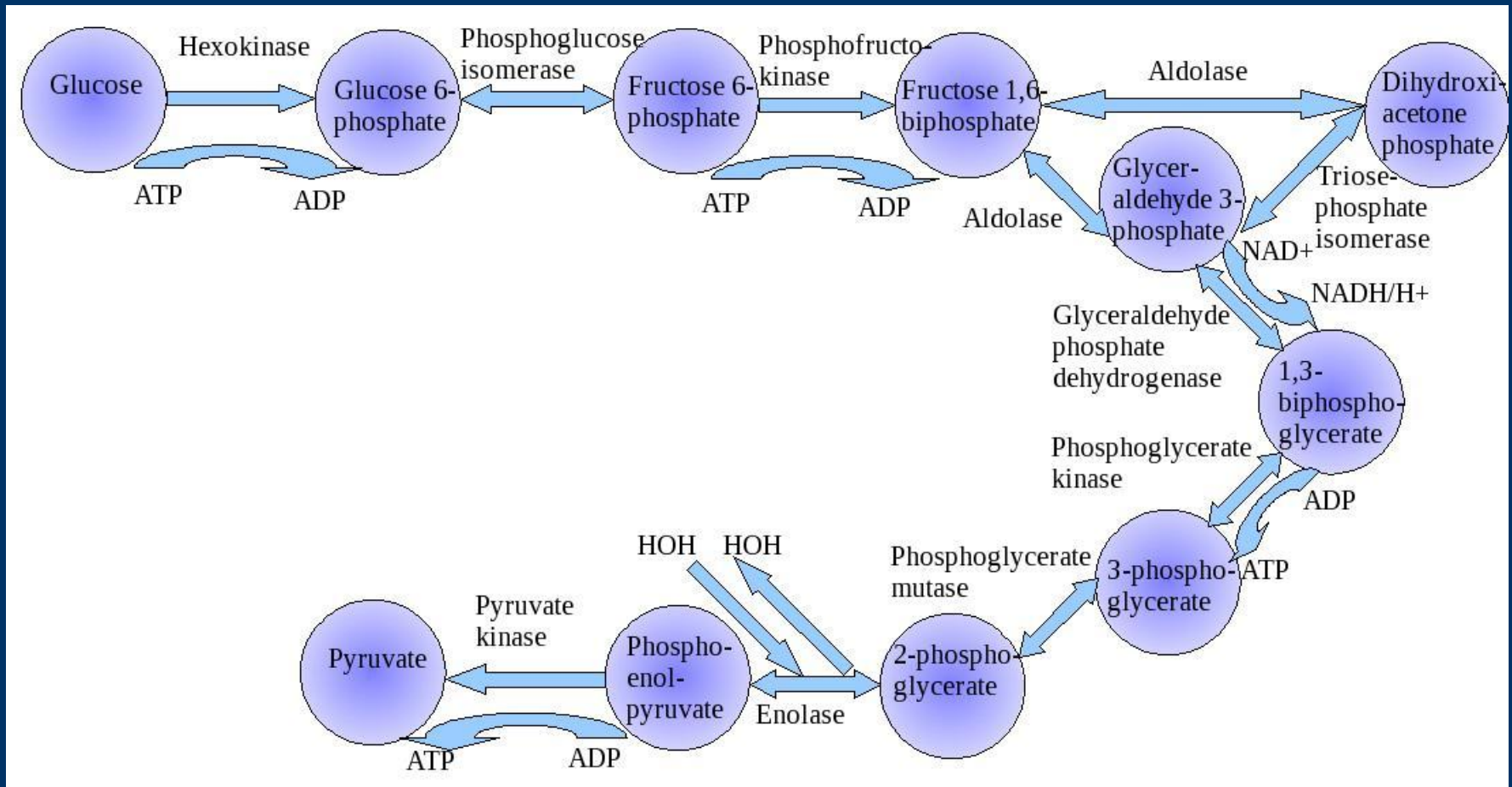
## Линейный метаболический путь



А – предшественник; Е – продукт; В, С, **D** – промежуточные продукты, метаболиты; **E1, E2, E3, E4** – ферменты.

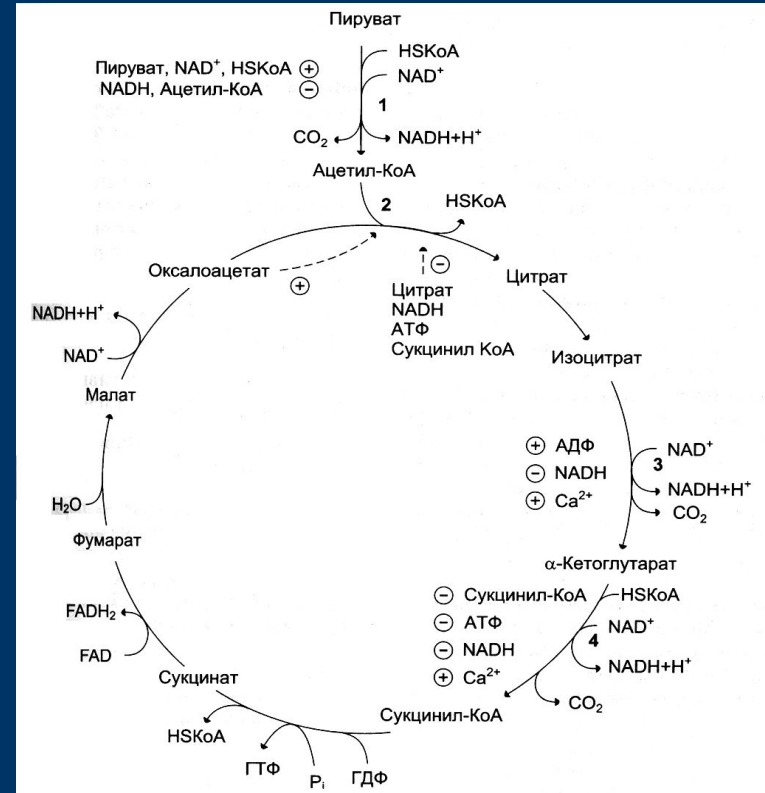
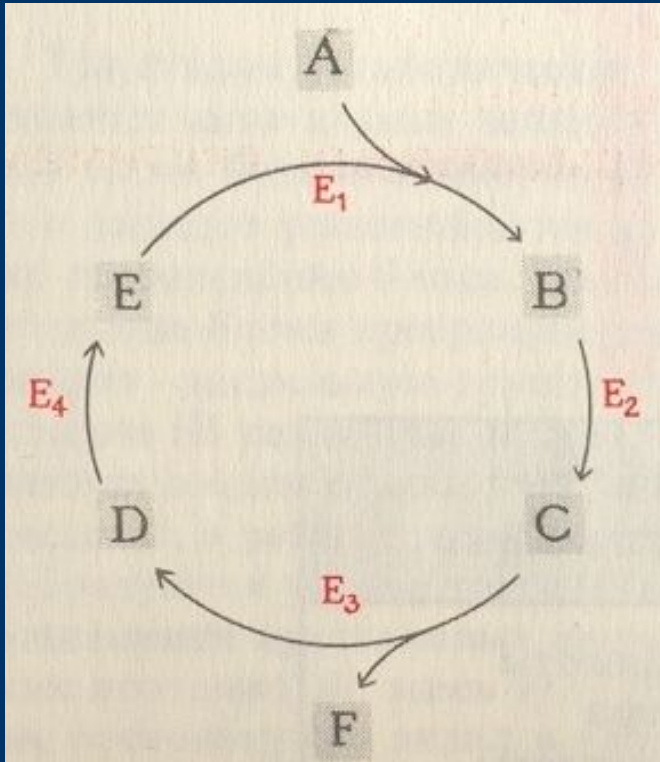
Предшественник А превращается в продукт Е в результате четырех последовательных ферментативных реакций. Продукт одной ферментативной реакции служит при этом субстратом следующей.

# Линейный метаболический путь - гликолиз



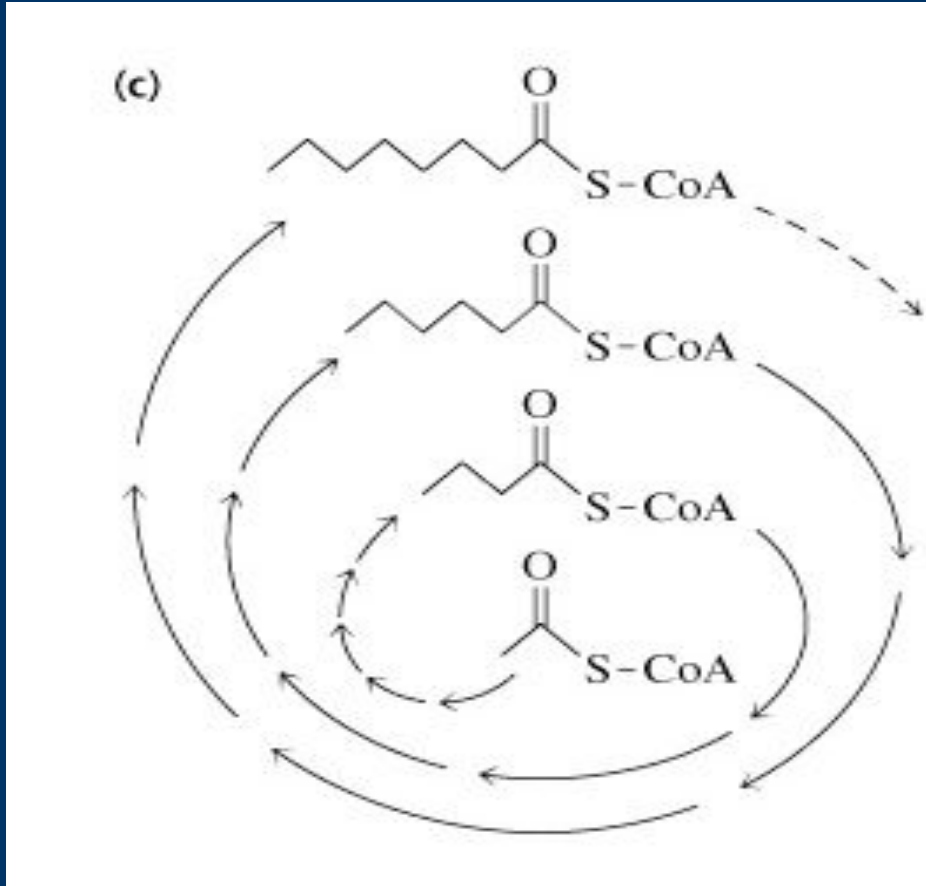


# Циклический метаболический путь



Цикл Кребса

# Спиральный метаболический путь



Биосинтез жирной  
кислоты (спираль Линнена)

Все метаболические пути делят на центральные и специальные.

*Центральные метаболические пути* - пути превращения основных пищевых веществ клетки - углеводов, жиров, белков и нуклеиновых кислот. Они немногочисленны и сходны почти у всех живых форм.

*Специальные метаболические пути* - пути образования различных специализированных веществ, требующихся клеткам в малых количествах (гормоны, пигменты, токсины, антибиотики, алкалоиды и др.). Они составляют, так называемый, вторичный метаболизм.

## Понятие метаболизма

Обмен веществ (метаболизм) можно разделить на два взаимосвязанных, но разнонаправленных процесса: анаболизм (ассимиляция) и катаболизм (диссимиляция).

Анаболизм – объединяет все реакции, связанные с синтезом необходимых для организма веществ, их использованием для роста, развития и жизнедеятельности организма.

Катаболизм – это совокупность процессов расщепления сложных молекул до более простых веществ с использованием части из них в качестве субстратов для биосинтеза и расщеплением другой части до конечных продуктов метаболизма с образованием энергии.

# Взаимосвязь между катаболизмом и анаболизмом



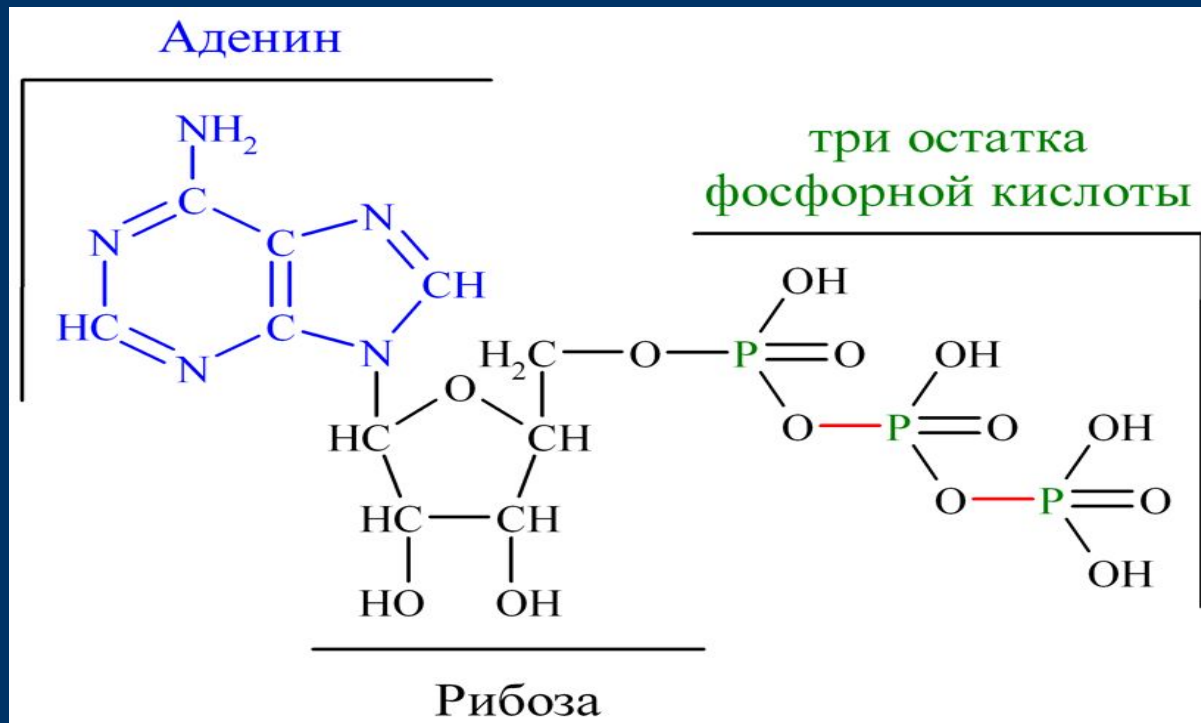
*Катаболизм* объединяет процессы деградации, в которых органические молекулы пищи (углеводы, жиры и белки) превращаются в более простые конечные продукты (молочная кислота, **CO<sub>2</sub>**, **NH<sub>3</sub>**).

*Анаболизм*, называемый также *биосинтезом*, - включает процессы, при которых из малых молекул-предшественников, или «строительных блоков», синтезируются более крупные и сложные молекулы – жиры, полисахариды, белки и нуклеиновые кислоты.

Общую стадию катаболических и анаболических путей называют иногда *амфиболической* стадией метаболизма (от греч. «**amfi**»-оба).

## Понятие метаболизма

Процессы, протекающие с выделением и потреблением энергии, связаны между собой. Центральную роль в этой взаимосвязи выполняет *АТФ - основное высокоэнергетическое соединение* клетки.

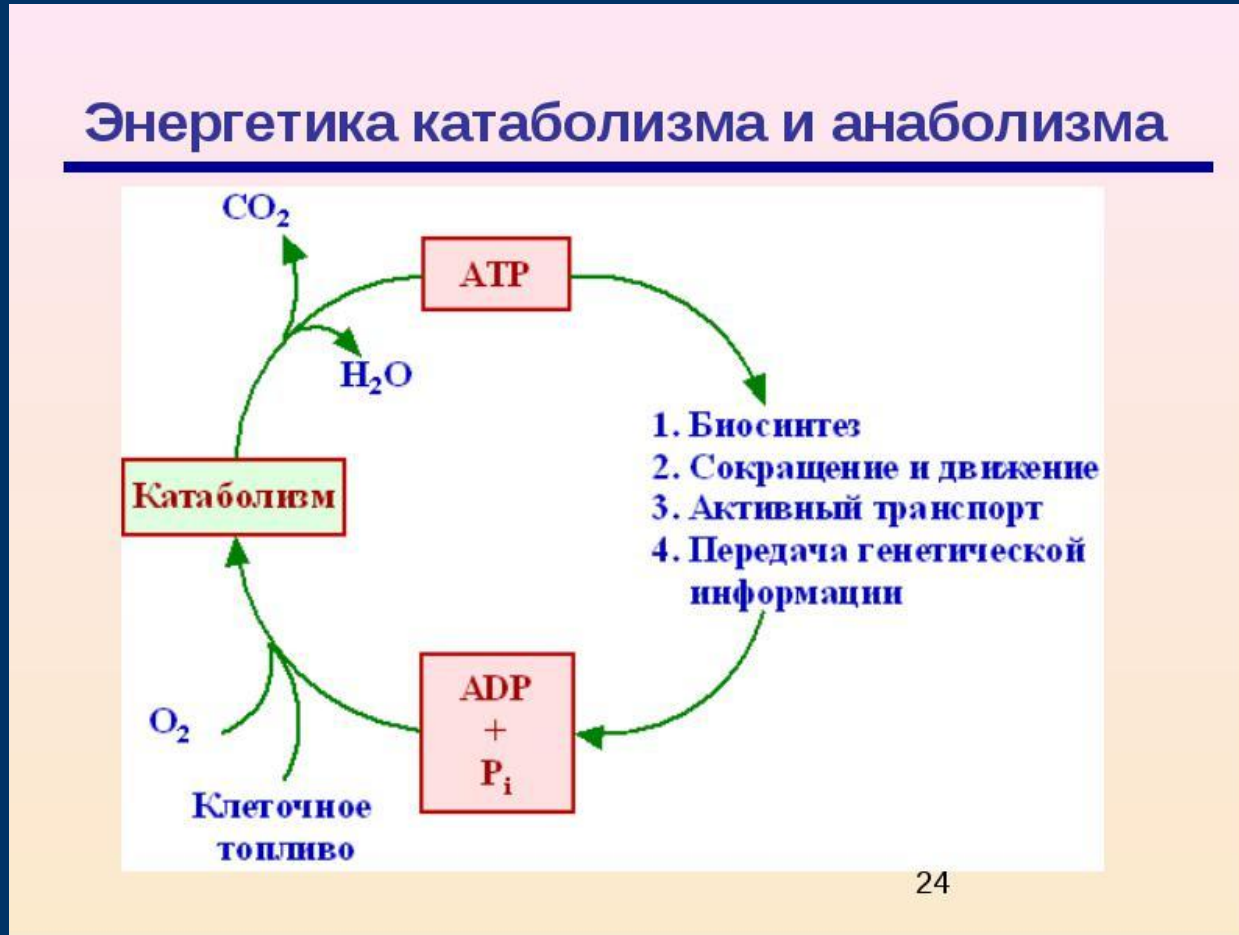


**Обмен веществ и энергии в живых системах. Обмен углеводов**

- 1.** АТФ поставляет энергию для процессов биосинтеза.
- 2.** АТФ служит источником энергии для процессов движения и сокращения.
- 3.** За счет энергии АТФ происходит перенос питательных веществ через мембраны против градиента концентрации.
- 4.** Энергия АТФ используется в очень тонких механизмах, обеспечивающих передачу генетической информации при биосинтезе ДНК, РНК и белков.



# Энергетика катаболизма и анаболизма

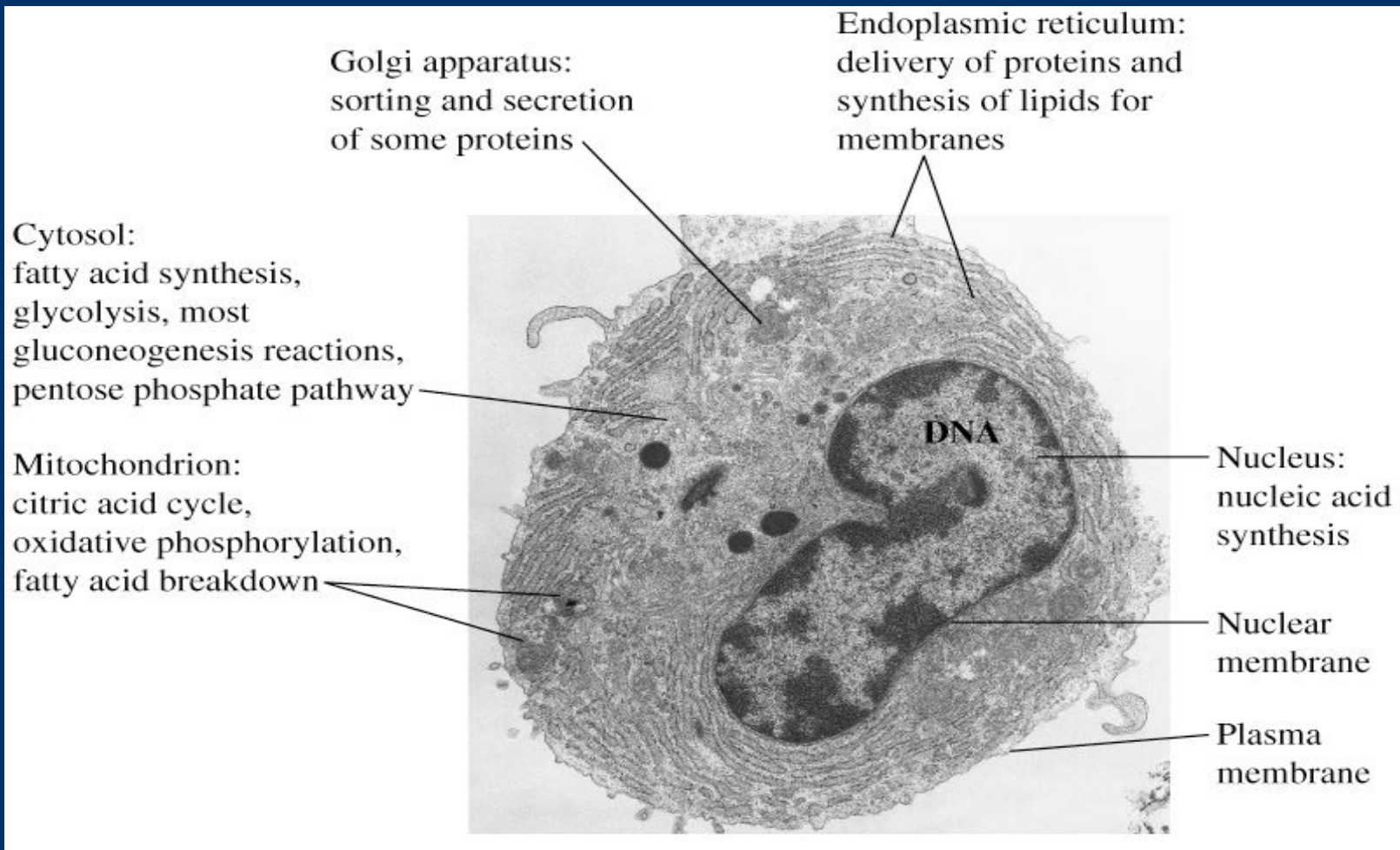


Катаболические и анаболические реакции протекают одновременно, однако их скорости регулируются независимо, они часто локализованы в разных участках клетки. Метаболические пути регулируются на нескольких уровнях, как внутри клетки, так и внеклеточно.

- 1 )** Аллостерическая регуляция метаболитами, сигнализирующими о состоянии метаболизма внутри клетки.
- 2)** Регуляция при участии гормонов и ростовых факторов, которые действуют снаружи клетки.
- 3 )** Регуляция на уровне транскрипции.

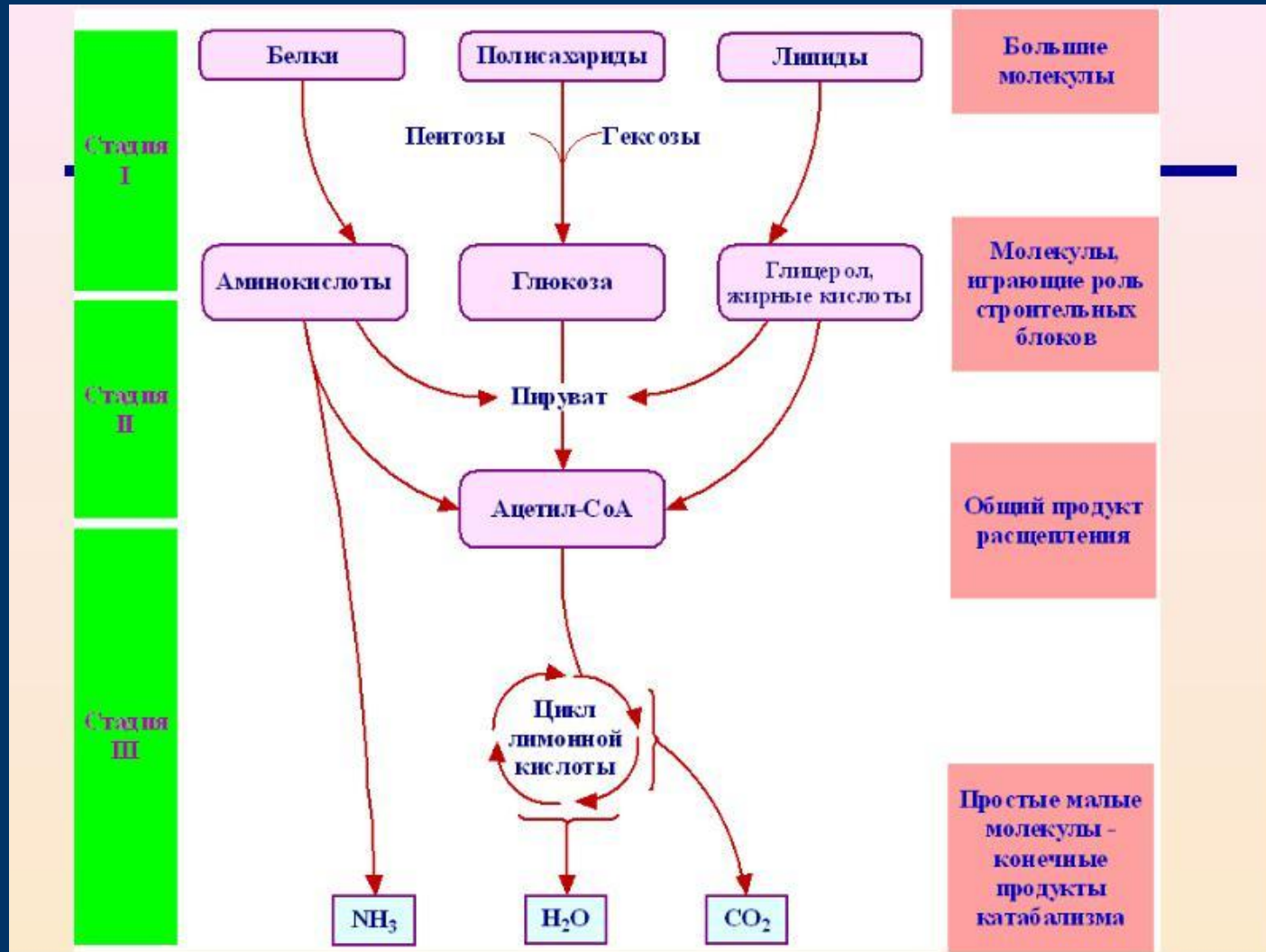
# Понятие метаболизма

## Компартментализация метаболических процессов в клетке



**Обмен веществ и энергии в живых системах. Обмен углеводов**

# Стадии катаболизма



## Стадии катаболизма

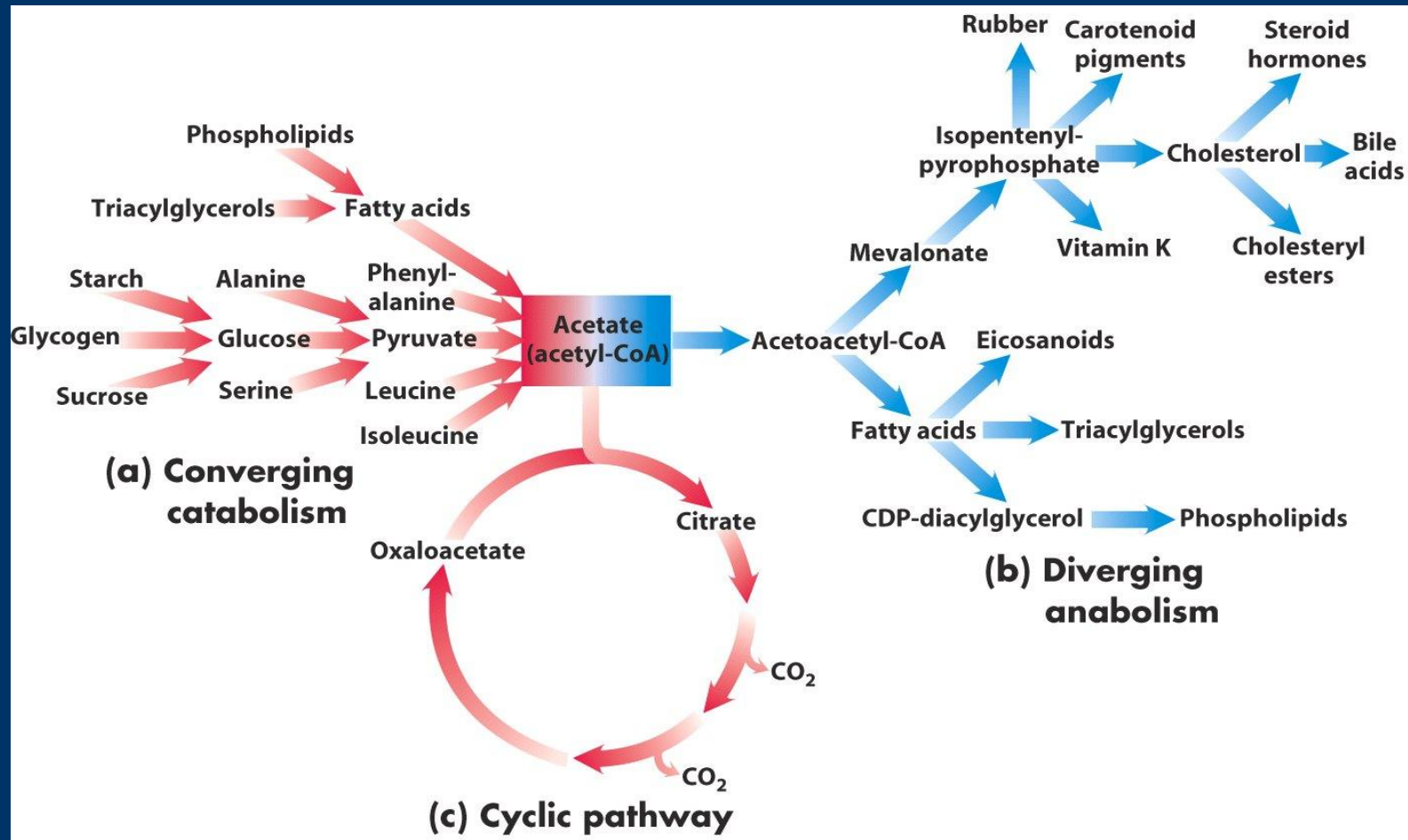
Три стадии катаболических превращений основных питательных веществ клетки.

На стадии I сотни белков и многие виды полисахаридов и липидов расщепляются на составляющие их строительные блоки.

На стадии II эти строительные блоки превращаются в один общий продукт - ацетильную группу ацетил-CoA.

На стадии III различные катаболические пути сливаются в один общий путь - цикл лимонной кислоты; в результате всех этих превращений образуются только три конечных продукта.

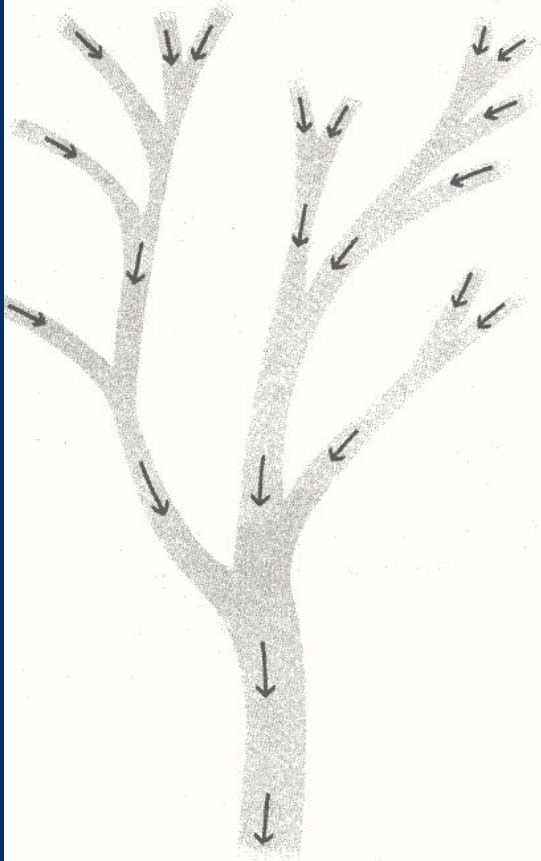
# Конвергентные и дивергентные метаболические пути





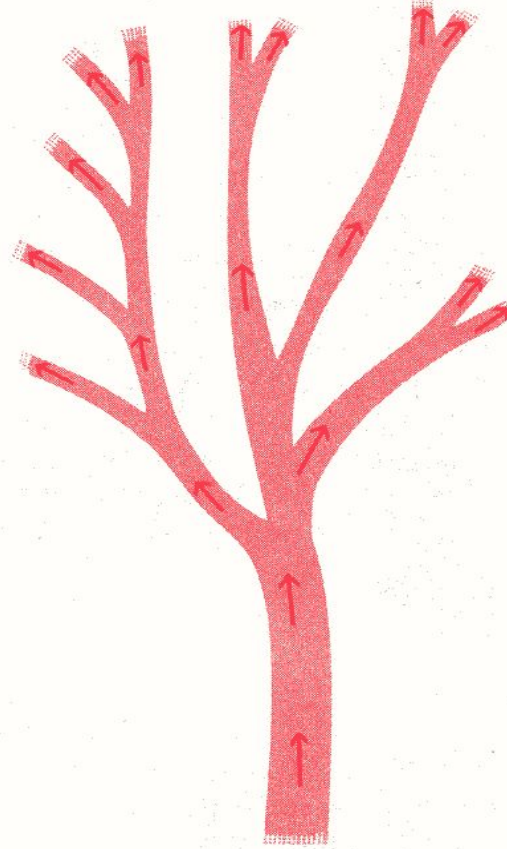
## Катаболизм и анаболизм

Сходящиеся катаболические пути



Конечные продукты катаболизма

Расходящиеся биосинтетические пути – из небольшого числа предшественников образуется много разных продуктов



Предшественники продуктов биосинтеза

Обмен веществ и энергии в живых системах

## Пищевые углеводы

- Полисахариды (крахмал, гликоген, целлюлоза).
- Олигосахариды.
  - Дисахариды (сахароза, лактоза, мальтоза, трегалоза).
- Моносахариды (глюкоза, манноза, галактоза) – минимальное количество ■



Метаболизм (обмен) углеводов в организме человека состоит в основном из следующих процессов:

1. Расщепление в пищеварительном тракте поступающих с пищей полисахаридов и дисахаридов до моносахаридов. Всасывание моносахаридов из кишечника в кровь.
2. Гликолиз.
3. Аэробный метаболизм пирувата.
4. Синтез и распад гликогена в тканях, прежде всего в печени.
5. Аэробный путь прямого окисления глюкозы (пентозофосфатный путь).
6. Глюконеогенез, или образование углеводов из неуглеводных продуктов.

## Амилолитические ферменты

- Амилолитические ферменты (гликозидазы) относятся к классу гидролаз.
- Два типа ферментов необходимы для расщепления углеводов: амилазы (слюнная и панкреатическая) и дисахаридазы (мальтаза, изомальтаза, сахараза, лактаза, трегалаза).

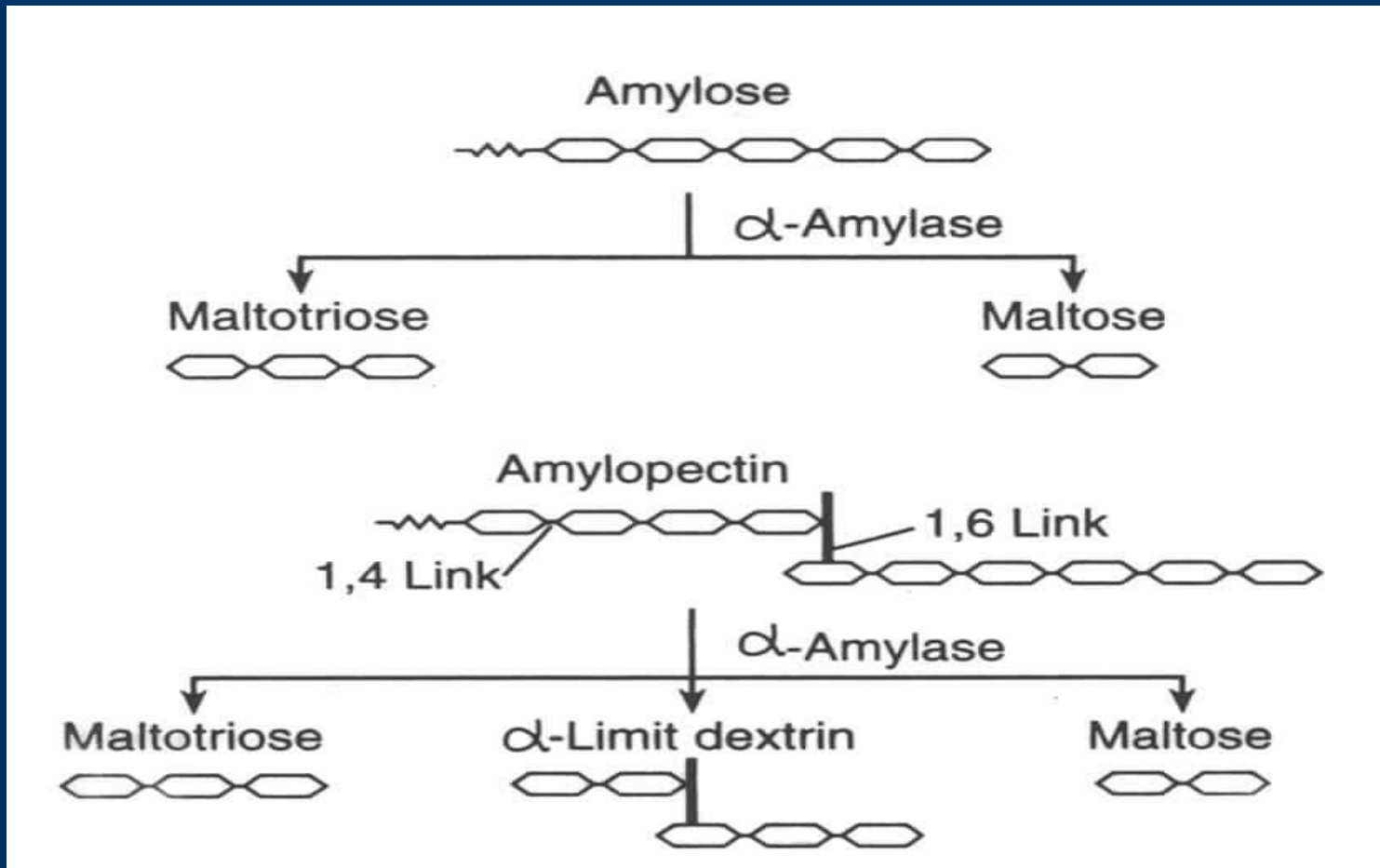
## $\alpha$ -Амилаза слюны

- Локализация – ротовая полость.
- Оптимум pH **6,7** (от **6,6** до **6,8**).
- Активируется ионами **Cl<sup>-</sup>**
- Гидролизует  $\alpha$ -**1,4**-гликозидные связи внутри полисахаридной цепи (эндогликозидаза), не расщепляет **1,6**-связи.
- Действие  $\alpha$ -амилазы слюны останавливается в желудке при снижении pH до **1,5 – 2,5**.

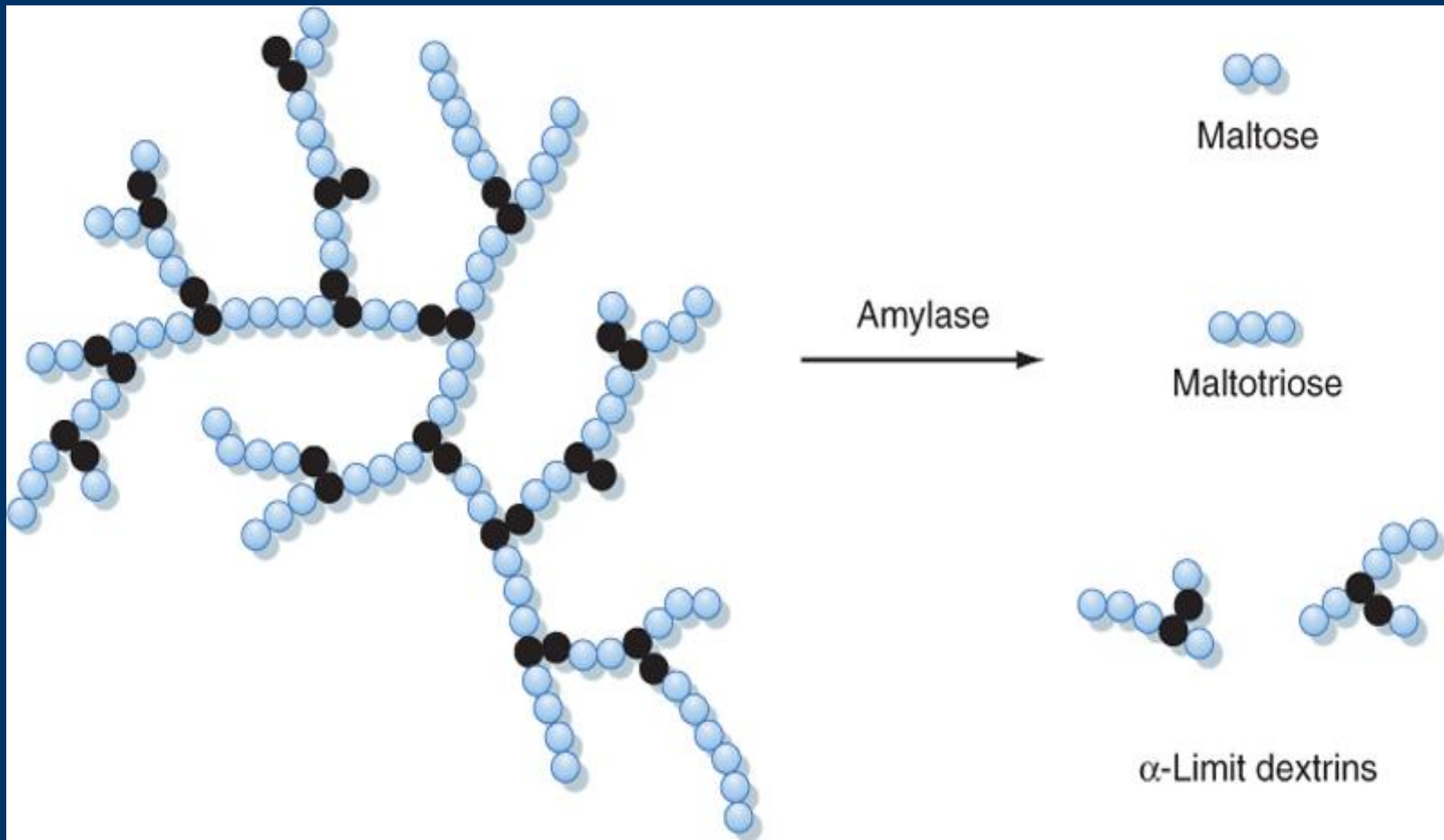
## Панкреатическая $\alpha$ -амилаза

- Оптимум pH **7,1**.
- Как и  $\alpha$ -амилаза слюны, активируется ионами **Cl<sup>-</sup>**
- Гидролизует  $\alpha$ -**1,4**-гликозидные связи внутри полисахаридной молекулы (эндогликозидаза), не расщепляет **1,6**-связи.

## Продукты расщепления углеводов панкреатической $\alpha$ -амилазой



## Продукты расщепления углеводов панкреатической $\alpha$ -амилазой



## Расщепление углеводов в тонком кишечнике

### Полостное пищеварение:

- Амилаза
- Амило-**1,6**-глюкозидаза и олиго-**1,6**-глюкозидаза
- Дисахаридазы (небольшое количество)

### Пристеночное пищеварение:

- Основная масса дисахаридаз
- Амилаза (небольшое количество)

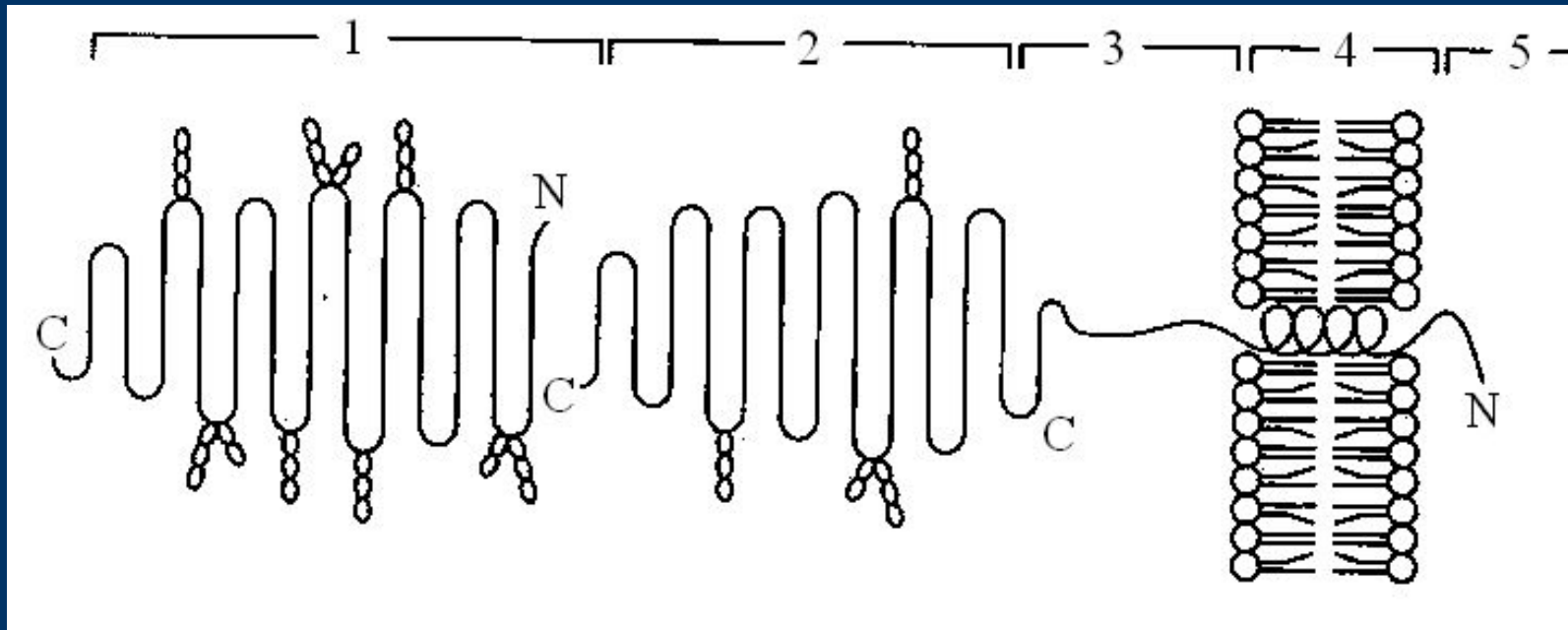
## **Дисахаридазы**

Ферменты, расщепляющие гликозидные связи в дисахаридах (**дисахаридазы**), образуют **ферментативные комплексы**, локализованные на наружной поверхности цитоплазматической мембраны энтероцитов. Выделяют следующие ферментативные комплексы:

- 1. Сахаразо-изомальтазный комплекс;**
- 2. Гликоамилазный комплекс;**
- 3.  $\beta$ -Гликозидазный комплекс (лактаза);**
- 4. Трегалаза.**

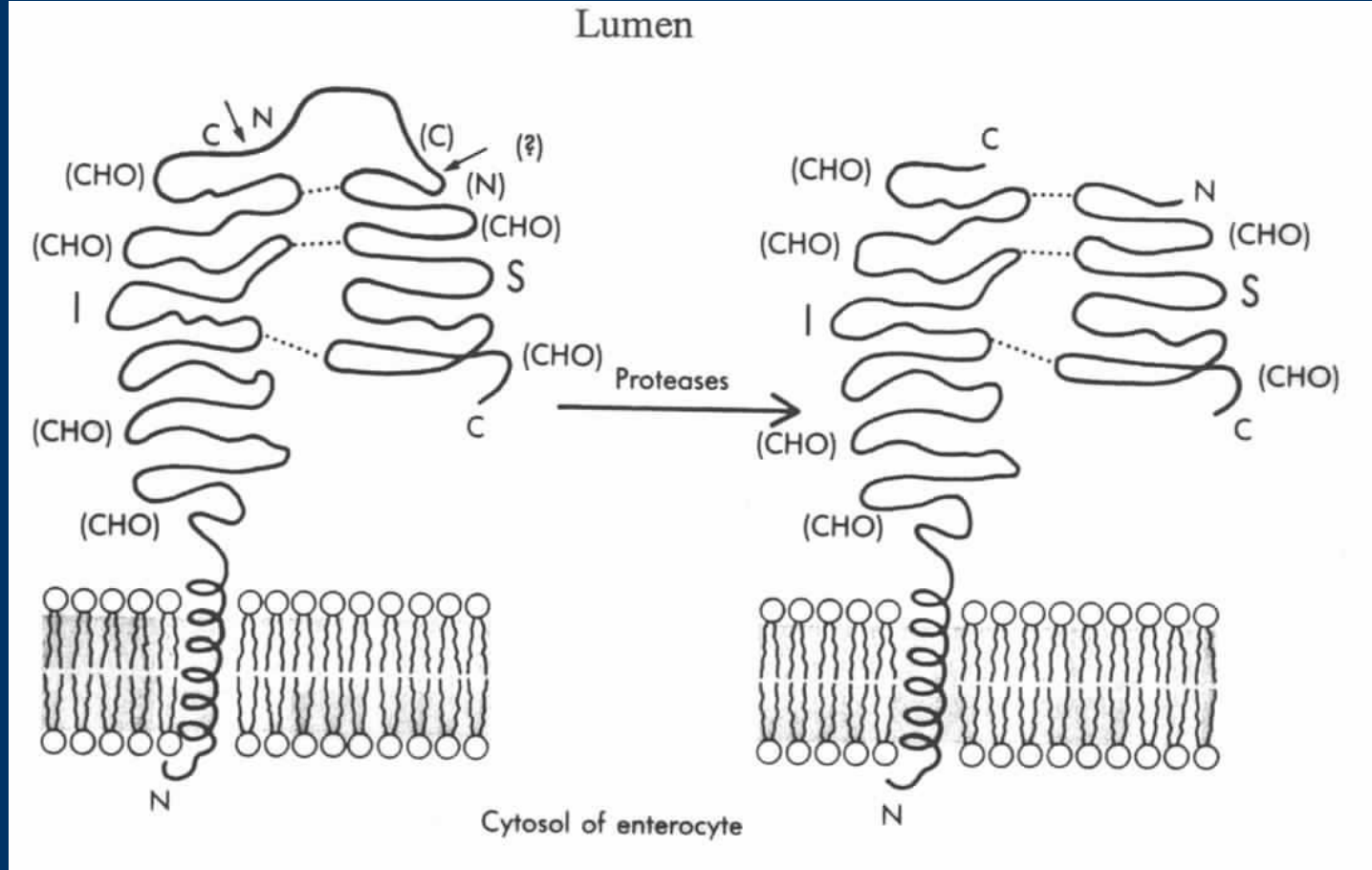


## Сахарозо-изомальтазный комплекс



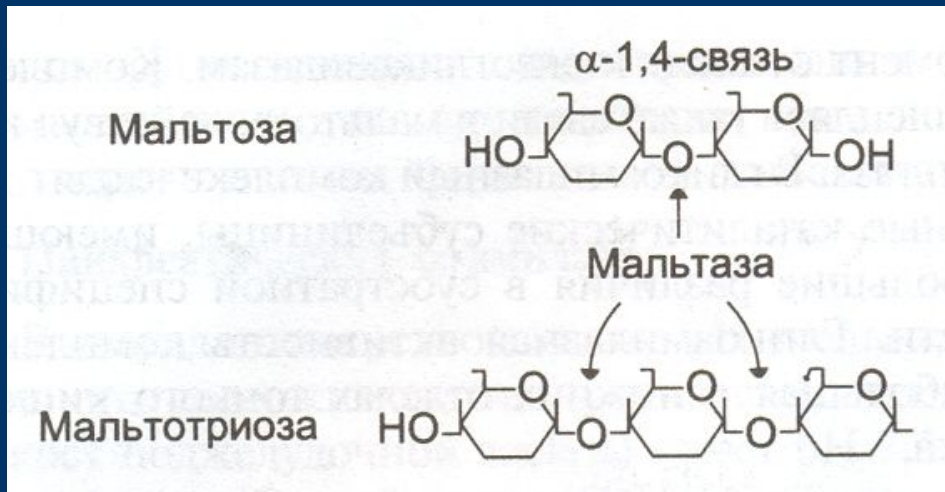
**1** – сахараза; **2** – изомальтаза; **3** – связывающий домен; **4** – трансмембранный домен; **5** – цитоплазматический домен

# Расщепление углеводов в ЖКТ

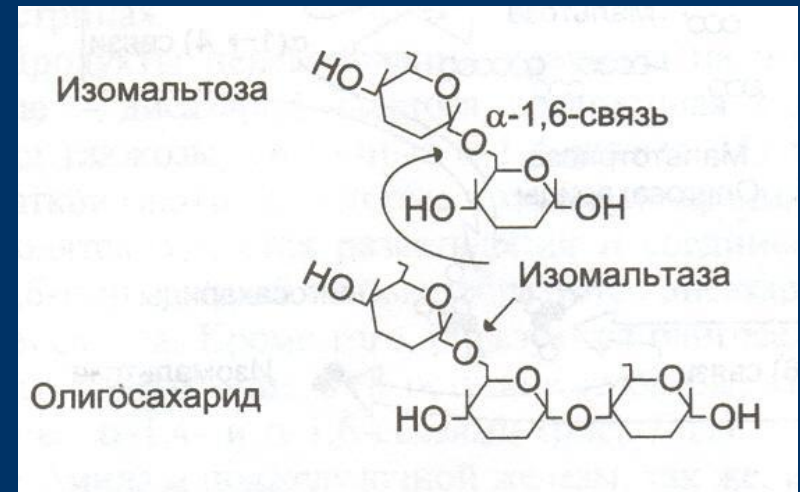


## Сахарозо-изомальтазный комплекс

## Действие сахарозо-изомальтазного комплекса

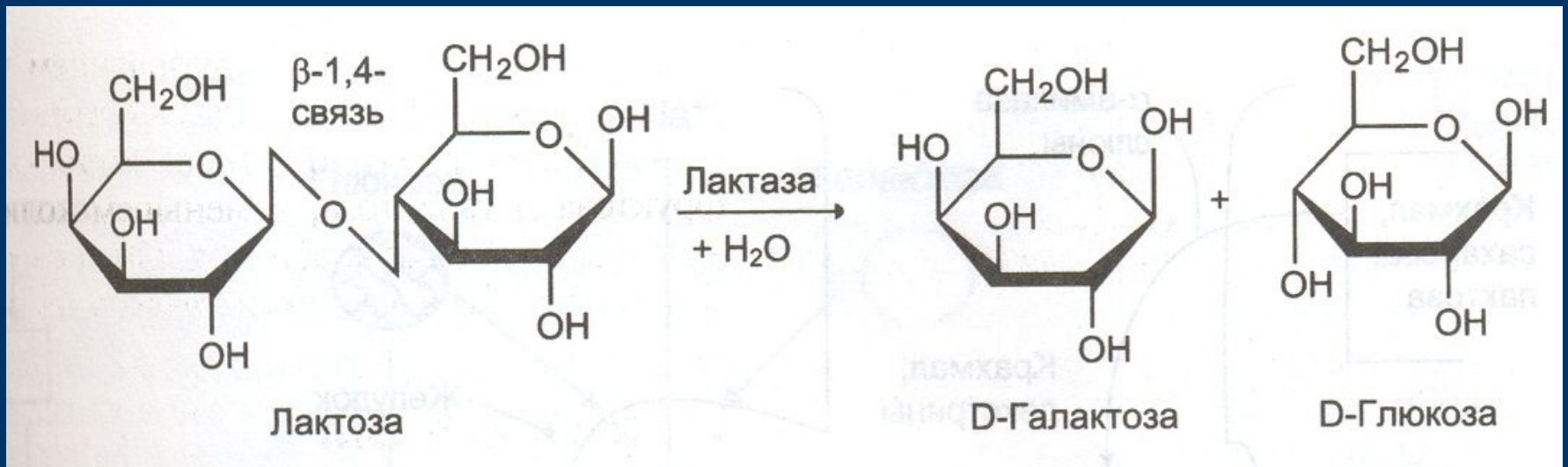


Действие сахарозо-изомальтазного комплекса на мальтозу и мальтотриозу

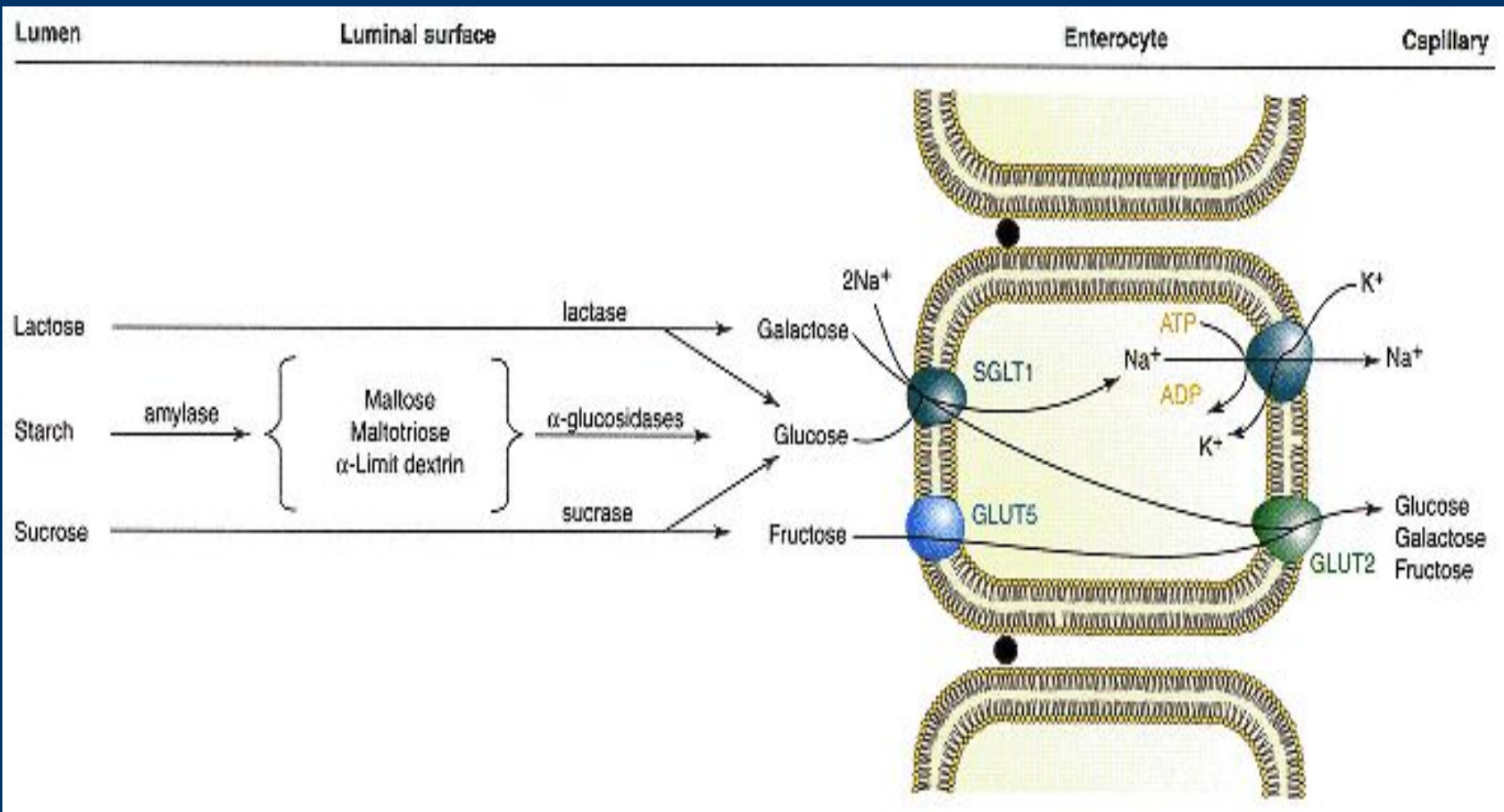


Действие сахарозо-изомальтазного комплекса на изомальтозу и олигосахарид

## Действие $\beta$ -гликозидазного комплекса (лактазы)



# Расщепление углеводов в ЖКТ



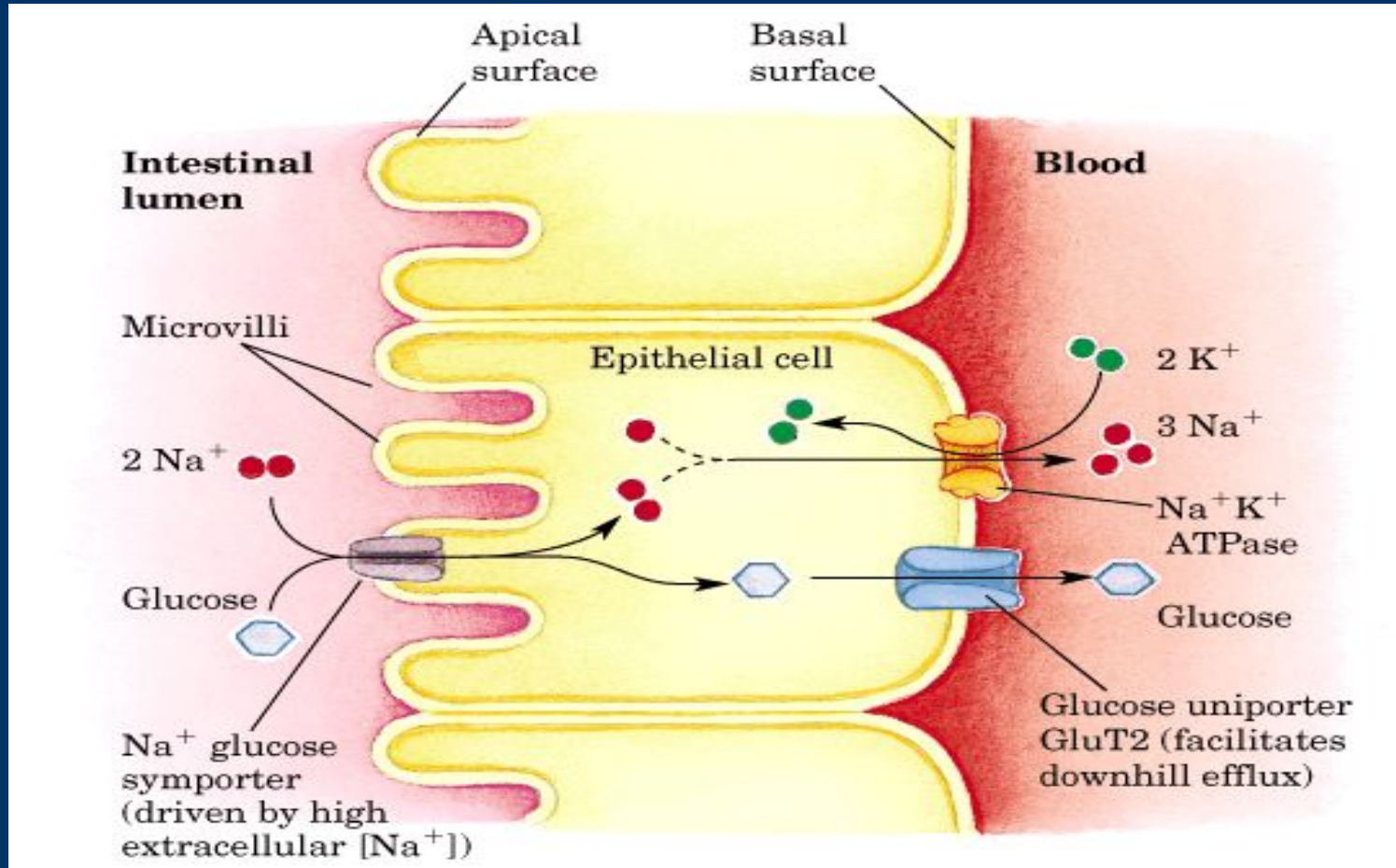
## Всасывание моносахаридов в кишечнике

Всасывание моносахаридов из кишечника происходит путём **облегчённой диффузии** с помощью специальных белков-переносчиков (**транспортёров**). Кроме того, глюкоза и галактоза транспортируются в энтероцит **путём вторично-активного транспорта**, зависящего от градиента концентрации ионов натрия.

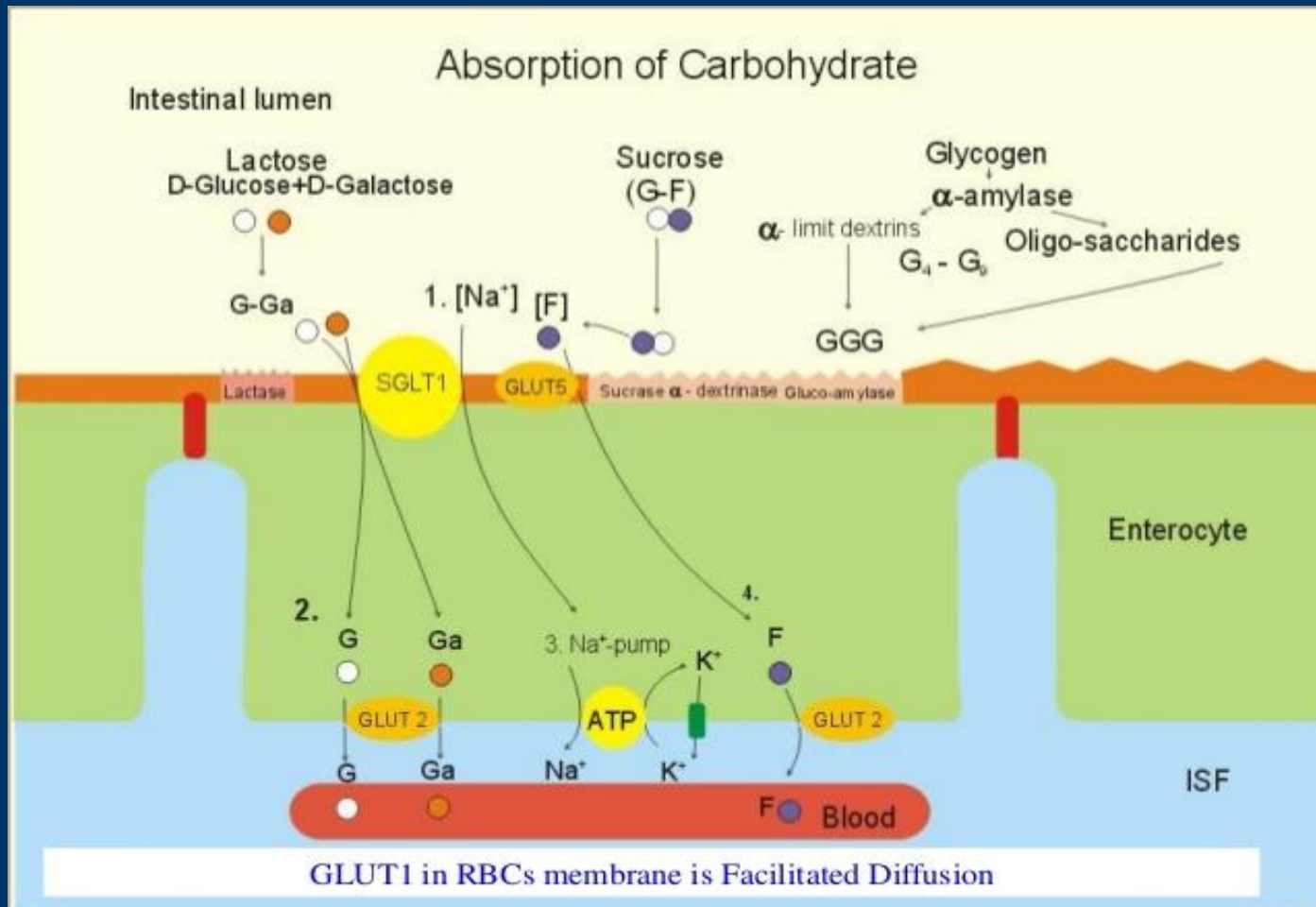
Белки-транспортёры, зависящие от градиента **Na<sup>+</sup>**, обеспечивают всасывание глюкозы из просвета кишечника в энтероцит против градиента концентрации. Концентрация **Na<sup>+</sup>**, необходимая для этого транспорта, обеспечивается **Na<sup>+</sup>,K<sup>+</sup>-АТФ-азой**, которая работает как насос, откачивая из клетки **Na<sup>+</sup>** в обмен на **K<sup>+</sup>**. В отличие от глюкозы, фруктоза транспортируется системой, не зависящей от градиента натрия.



# Всасывание моносахаридов в кишечнике

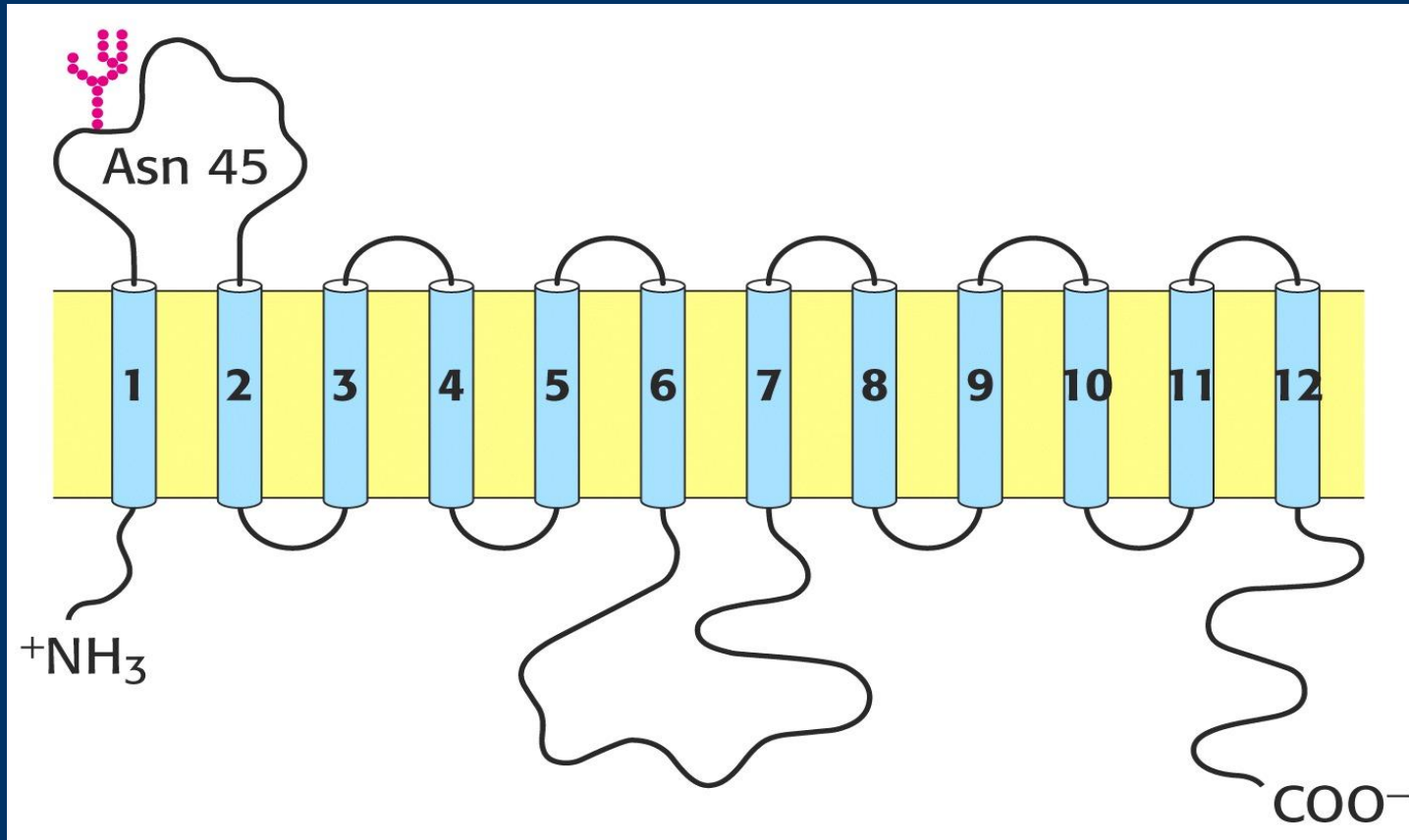


# Всасывание моносахаридов в кишечнике





## Глюкозный транспортер



## Транспорт глюкозы из крови в клетки

Типы ГЛЮТ	Локализация в органах
<b>ГЛЮТ-1</b>	Преимущественно в мозге, плаценте, почках, толстом кишечнике
<b>ГЛЮТ-2</b>	Преимущественно в печени, почках, $\beta$ -клетках островков Лангерганса, энтероцитах
<b>ГЛЮТ-3</b>	Во многих тканях, включая мозг, плаценту, почки
<b>ГЛЮТ-4</b> (инсулинзависимый)	В мышцах (скелетной, сердечной), жировой ткани. Содержится в отсутствие инсулина почти полностью в цитоплазме
<b>ГЛЮТ-5</b>	В тонком кишечнике. Переносчик фруктозы