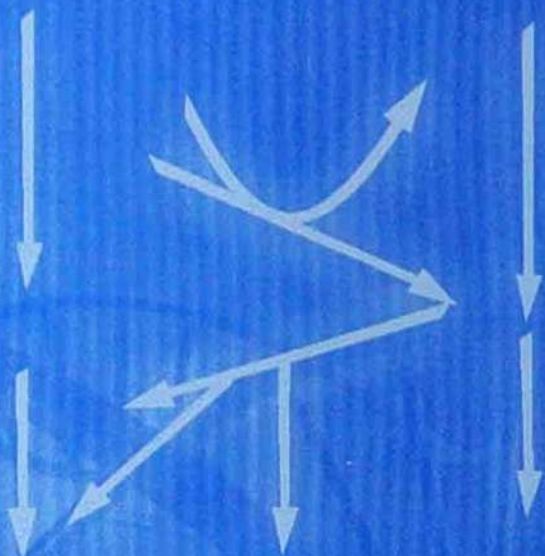




БИОХИМИЯ

В СХЕМАХ И ТАБЛИЦАХ



И. В. Семак
О. И. Губич
Т. А. Кукулянская
Н. М. Орел

Биохимия

в схемах
и таблицах

УДК 571.1
ББК 28.072
Б63

Составители:
**И. В. Семак, О. И. Губич,
Т. А. Кукулянская,
Н. М. Орел**

Рекомендовано ученым советом
биологического факультета
15 сентября 2010 г., протокол № 1

Рецензенты:
кандидат химических наук *В. Н. Леонтьев*;
кандидат биологических наук *Е. А. Храмцова*

Биохимия в схемах и таблицах : пособие для студентов биол.
Б63 фак. / сост.: И. В. Семак [и др.]. – Минск : БГУ, 2011. – 91 с.
ISBN 978-985-518-606-0.

В пособии в наглядной форме приводятся основные положения статической и динамической биохимии. Рассмотрены основные классы биологических молекул, клеточные процессы с их участием, а также механизмы важнейших биохимических процессов в клетке.

Предназначено для студентов, магистрантов, аспирантов биологических специальностей, а также широкого круга читателей, интересующихся вопросами биохимии.

**УДК 571.1
ББК 28.072**

ISBN 978-985-518-606-0

© БГУ, 2011

ПРЕДИСЛОВИЕ

Важнейшей составляющей эффективной подготовки современного специалиста-биолога в высшей школе является освоение им ключевых положений биологической химии. Поскольку биохимия относится к числу наиболее динамично развивающихся областей знаний, чрезвычайно важно представить накопленную к настоящему времени информацию в доступной студентам, наглядной форме. Таким образом, данное пособие позволяет оперативно получать информацию по основным разделам биохимии в объеме университетского курса.

Пособие начинается с разделов, посвященных строению и классификации важнейших биомолекул: белков, углеводов, нуклеиновых кислот, липидов, витаминов и гормонов. Особое внимание уделяется вопросам энзимологии, кинетике ферментативных реакций и особенностям регуляции ферментативных процессов в клетке.

Во второй половине издания рассмотрены основные реакции превращения биологических молекул, матричные процессы, важнейшие положения биоэнергетики животной клетки.

Данное издание будет стимулировать самостоятельную подготовку студентов и магистрантов, повышать уровень и качество подготовки современных специалистов-биологов.

Все замечания и пожелания, касающиеся улучшения представленного материала, будут приняты авторами с благодарностью.

СТРУКТУРНАЯ БИОХИМИЯ

АМИНОКИСЛОТЫ, ПЕПТИДЫ, БЕЛКИ

Таблица 1

Классификация α -аминокислот

| Группа аминокислот | Функциональные группы | | Аминокислоты | |
|---|----------------------------------|-------------------------------|--|---------------------------------|
| Гидрофильные, полярные | | | | |
| Кислые (отрицательно заряженные при pH ≈ 7,4) | Карбоксильная группа | -COO ⁻ | Аспарагиновая Глутаминовая | Asp Glu |
| Основные (положи- тельно заряженные при pH ≈ 7,4) | Аминогруппа | -NH ₃ ⁺ | Лизин Аргинин Гистидин | Lys Arg His |
| Нейтральные | Тиольная группа | -SH | Цистеин | Cys |
| | Гидроксильная группа | -OH | Серин Треонин Тирозин | Ser Thr Tyr |
| | Амиды | -CONH ₂ | Аспарагин Глутамин | Asn Gln |
| Гидрофобные, неполярные | | | | |
| Алифатические | -CH ₂ - | | Аланин Валин Лейцин Изолейцин Метионин | Ala Val Leu Ile Met |
| Ароматические | -C ₆ H ₅ - | | Фенилаланин Триптофан <i>*Тирозин</i> | Phe Trp Tyr |
| Другие | Иминокислота | | Пролин Глицин | Pro Gly |

**Тирозин, или гидроксифенилаланин, – ароматическая, гидрофильная, полярная аминокислота.*

ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА АМИНОКИСЛОТ

Декарбоксилирование (образование аминов).

Дезаминирование (образование карбоновых кислот).

Этерификация карбоксильных групп (образование сложных эфиров).

Образование амидов.

Переаминирование (замещение аминокруппы).

Гидроксилирование.

Взаимодействие с альдегидами (образование шиффовых оснований).

Образование N-гликозидов (при взаимодействии с углеводами).

Образование O-гликозидов (при взаимодействии с углеводами).

Окисление SH-групп (образование дисульфидных соединений, например димера цистеина – цистина).

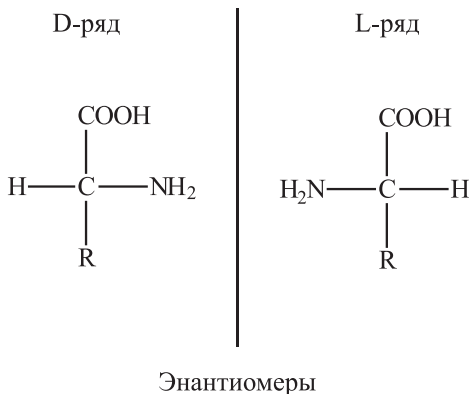
Фосфорилирование гидроксиаминокислот (образование сложных фосфорных эфиров).

Окисление гуанидиновой группы аргинина.

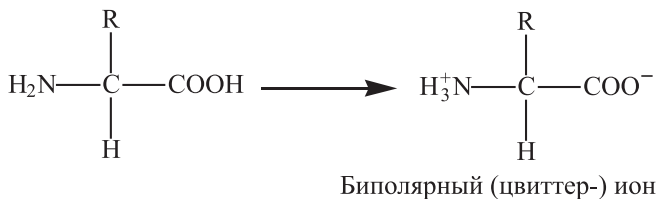
Образование пептидной связи (полимеризация аминокислот с образованием пептидов).



СТЕРЕОИЗОМЕРИЯ α -АМИНОКИСЛОТ



АМФОТЕРНЫЕ (КИСЛОТНО-ОСНОВНЫЕ) СВОЙСТВА α -АМИНОКИСЛОТ В РАСТВОРАХ



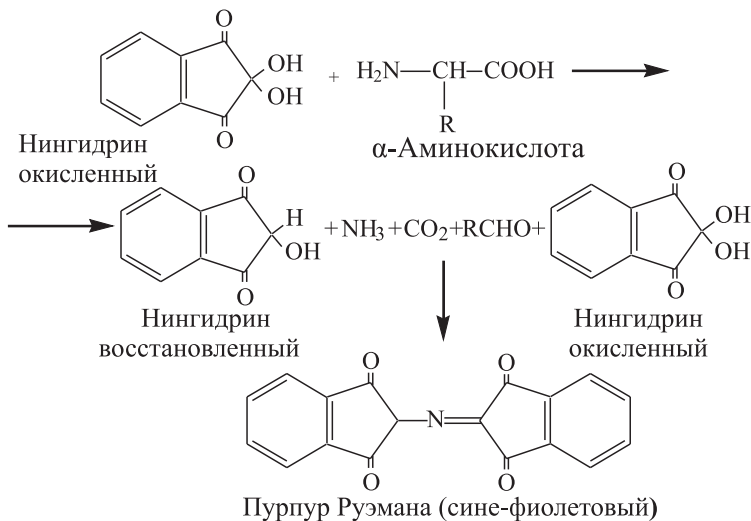
$$\text{pI} = (\text{pK}_1 + \text{pK}_2) / 2,$$

где pK_1 – константа диссоциации карбоксильных групп; pK_2 – константа диссоциации аминогрупп.

Заряд аминокислот при различных значениях pH среды

| pH < pI | pH = pI | pH > pI |
|------------------------------|-----------|------------------------------|
| Заряд > 0 (положительный) | Заряд = 0 | Заряд < 0 (отрицательный) |

КАЧЕСТВЕННАЯ РЕАКЦИЯ НА α -АМИНОКИСЛОТЫ



БИУРЕТОВАЯ РЕАКЦИЯ – КАЧЕСТВЕННАЯ РЕАКЦИЯ НА ПЕПТИДНУЮ СВЯЗЬ

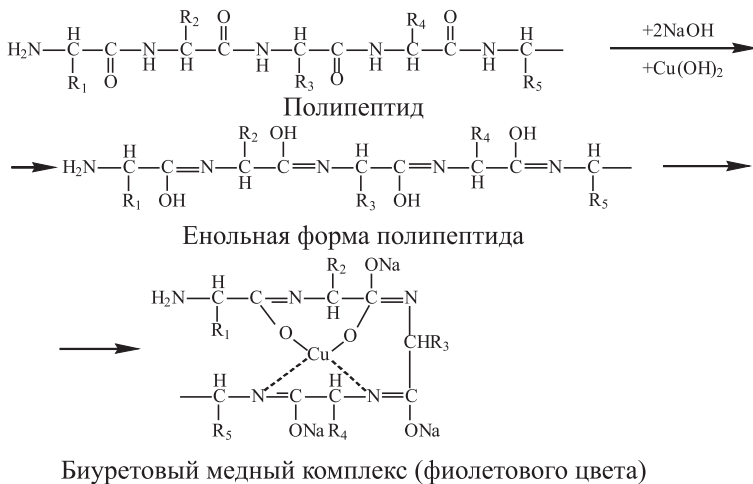


Таблица 2

Уровни структурной организации белков

| Структурный уровень | Характеристика структуры | Типы связей в структуре |
|---|---|--|
| Первичная структура | Последовательность аминокислотных остатков в полипептидной цепи | Ковалентные связи (пептидные) |
| Вторичная структура: α -спираль β -структура | Конфигурация полипептидной цепи | Водородные связи |
| Сверхвторичная структура | Упорядоченное расположение α -спиральных участков и/или β -структур полипептидной цепи | |
| Третичная структура | Пространственная организация (конформация) полипептидной цепи | Гидрофобные взаимодействия Водородные связи Ионные связи Дисульфидные (ковалентные) связи |
| Четвертичная структура | Способ организации в пространстве отдельных полипептидных цепей, образование макромолекулярных комплексов | Гидрофобные взаимодействия Водородные связи Ионные связи |

ФЕРМЕНТЫ

Таблица 3

Классификация ферментов

| Класс ферментов | Тип реакции |
|--------------------|---|
| 1. Оксидоредуктазы | Окислительно-восстановительные реакции всех типов |
| 2. Трансферазы | Перенос отдельных атомов и групп атомов |
| 3. Гидролазы | Гидролитическое расщепление химических связей |
| 4. Лиазы | Негидролитическое расщепление двойных связей или их образование |
| 5. Изомеразы | Взаимопревращение различных изомеров |
| 6. Лигазы | Образование связей (синтез) с затратой энергии АТФ |

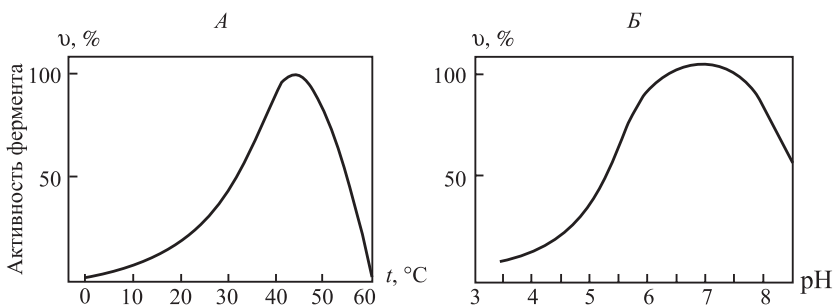
Единицы и формы выражения активности ферментов

1 катал (кат) – количество фермента, которое катализирует превращение 1 моль субстрата за 1 с при 25 °С.

1 международная единица (МЕ) – количество фермента, которое катализирует превращение 1 мкмоль субстрата за 1 мин при 25 °С.

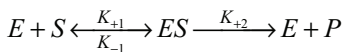
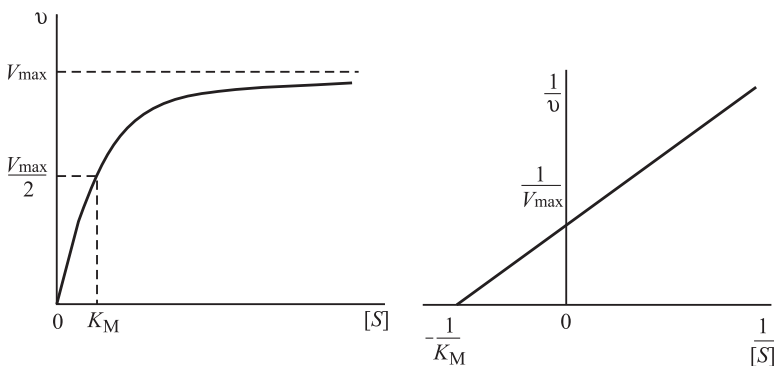
Удельная активность – число единиц активности фермента, приходящихся на 1 мг белка.

Зависимость активности ферментов от температуры (А) и pH среды (Б)



КИНЕТИКА ФЕРМЕНТАТИВНЫХ ПРОЦЕССОВ

Зависимость скорости реакции от концентрации



$$V = K_{+1} [E][S]$$

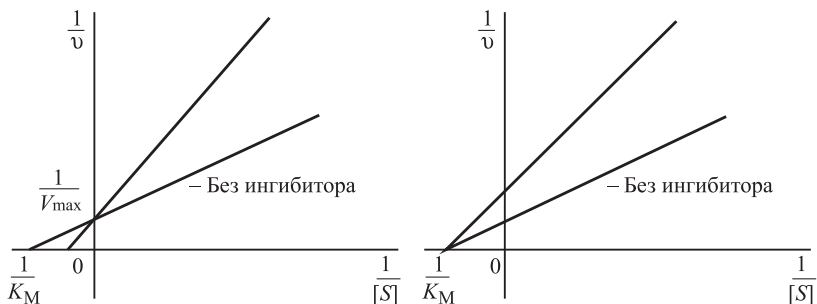
$$K_M = \frac{K_{-1} + K_{+2}}{K_{+1}},$$

где K_M – константа Михаэлиса

Уравнение Михаэлиса-Ментен

$$V = \frac{V_{\max}[S]}{K_M + [S]}.$$

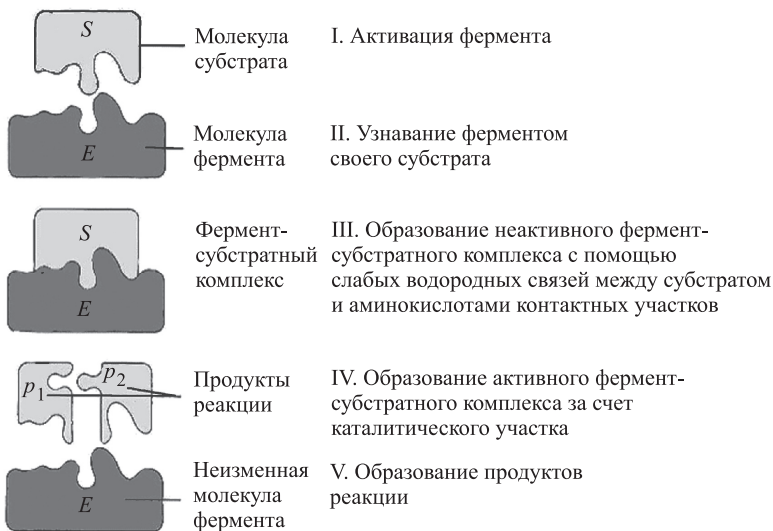
Ингибирование ферментативных процессов



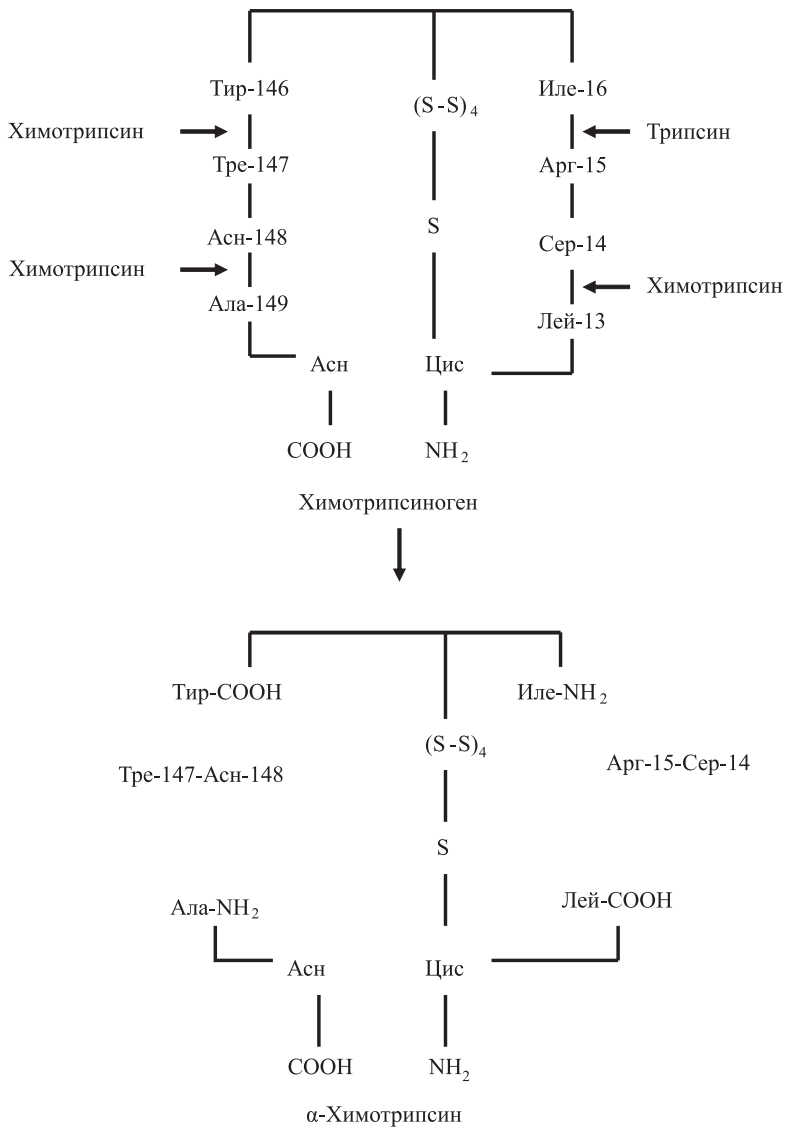
Конкурентный тип ингибирования

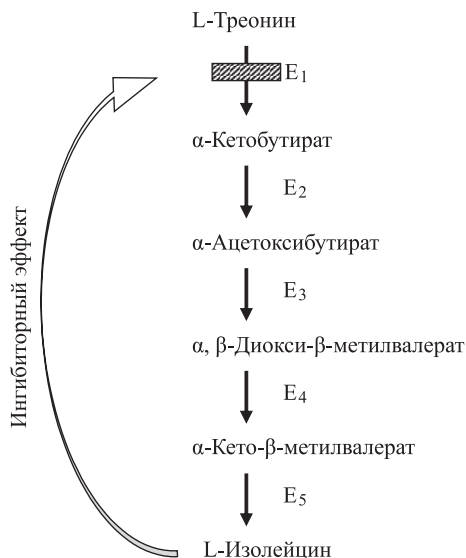
Неконкурентный тип ингибирования

Механизм действия ферментов



Активация химотрипсиногена путем ограниченного протеолиза
(Образующийся α -химотрипсин состоит из 3 цепей, соединенных
дисульфидными связями)





E₁ - L-треониндезаминаза

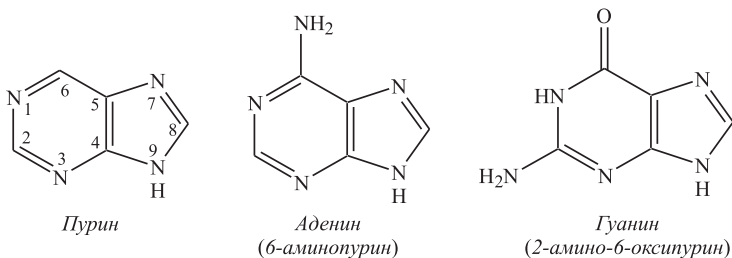
E₂, E₃, E₄, E₅ – ферменты, катализирующие промежуточные стадии

Ингибирование по типу обратной связи L-треониндезаминазы, т. е. первого фермента в цепи реакций, конечным продуктом – L-изолейцином

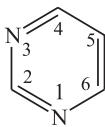
НУКЛЕОЗИДЫ, НУКЛЕОТИДЫ, НУКЛЕИНОВЫЕ КИСЛОТЫ

АЗОТИСТЫЕ ОСНОВАНИЯ

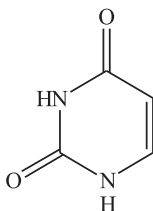
Пуриновые азотистые основания



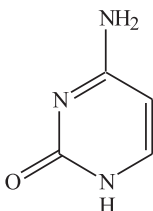
Пиримидиновые азотистые основания



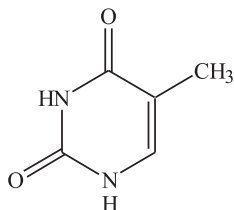
Пиримидин



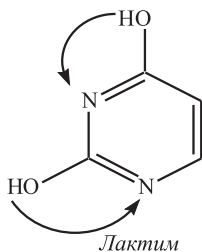
Урацил
(2, 4-диоксопиримидин)



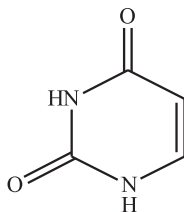
Цитозин
(2-оксо-4-амино-
пиримидин)



Тимин
(2, 4-диоксо-
5-метилпиримидин)



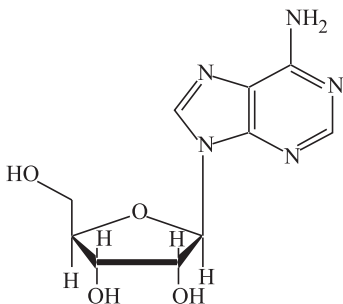
Лактим



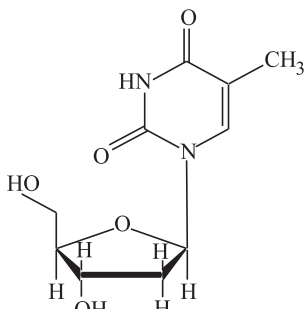
Лактам

Кето-енольная (лактим-лактаманная) таутомерия азотистых оснований

НУКЛЕОЗИДЫ



Рибонуклеозид
аденозин

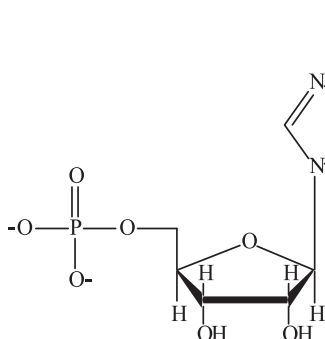


Дезоксирибонуклеозид
тимидин

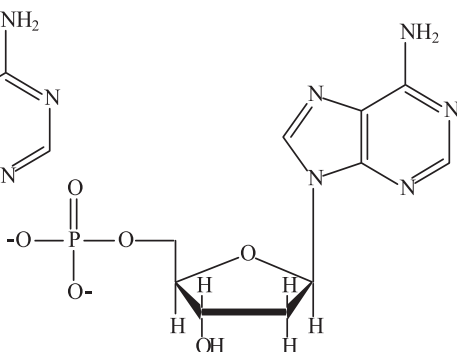
Таблица 4

Нуклеотидный состав нуклеиновых кислот

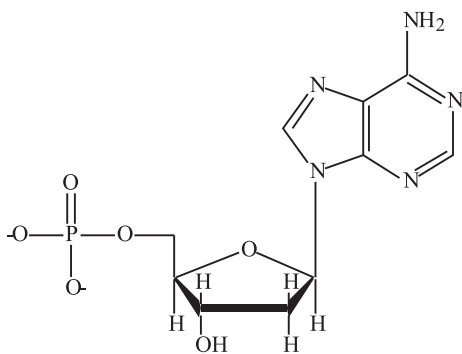
| Мононуклеотиды РНК | Мононуклеотиды ДНК |
|---|--|
| Адениловые кислоты: аденозин-3'-фосфат аденозин-5'-фосфат | Дезоксиадениловые кислоты: 2'-дезоксиаденозин-3'-фосфат 2'-дезоксиаденозин-5'-фосфат |
| Гуаниловые кислоты: гуанозин-3'-фосфат гуанозин-5'-фосфат | Дезоксигуаниловые кислоты: 2'-дезоксигуанозин-3'-фосфат 2'-дезоксигуанозин-5'-фосфат |
| Цитидиловые кислоты: цитидин-3'-фосфат цитидин-5'-фосфат | Дезоксцитидиловые кислоты: 2'-дезоксцитидин-3'-фосфат цитидин-5'-фосфат |
| Уридиловые кислоты: уридин-3'-фосфат уридин-5'-фосфат | Тимидиловые кислоты: 2'-дезокситимидин-3'-фосфат 2'-дезокситимидин-5'-фосфат |



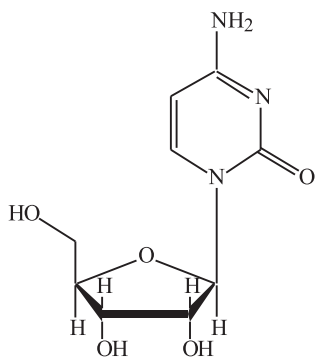
Аденозин-5'-монофосфат



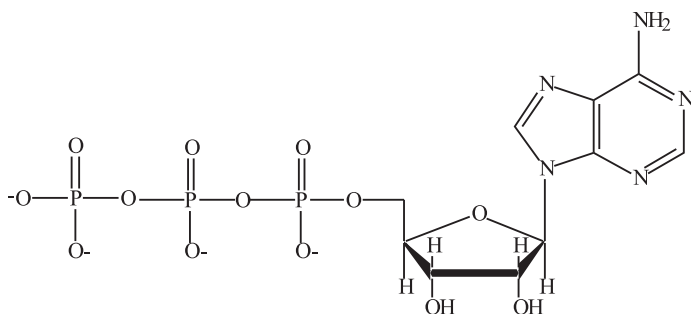
2'-Дезоксиаденозин-5'-
-монофосфат



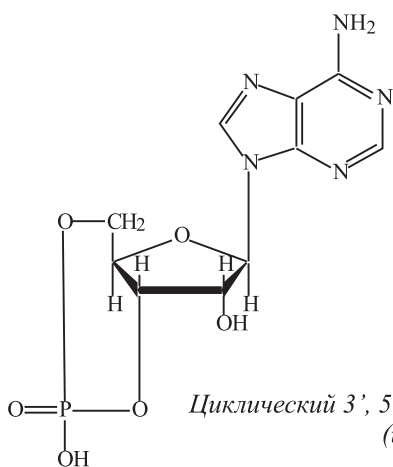
Дезоксиаденозин-5'-монофосфат



Цитидин-5'-монофосфат

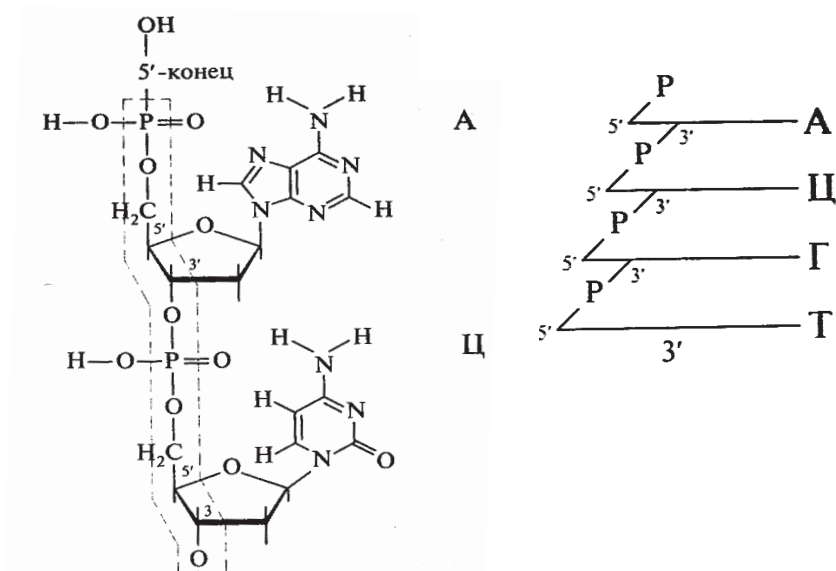


Аденозин-5-трифосфат (АТФ)



*Циклический 3', 5'-аденозинмонофосфат
(цАМФ)*

ПЕРВИЧНАЯ СТРУКТУРА НУКЛЕИНОВЫХ КИСЛОТ



А – аденин, Ц – цитозин, Г – гуанин, Т – тимин

Пунктиром выделен сахарофосфатный остов
(фосфодиэфирные связи)

ВТОРИЧНАЯ СТРУКТУРА ДНК

Правила Чаргаффа:

1. Количество пуринов равно количеству пиримидинов:

$$А + Г = Ц + Т \quad \text{или} \quad (А + Г) / (Ц + Т) = 1.$$
2. Количество аденина и цитозина равно количеству гуанина и тимина:

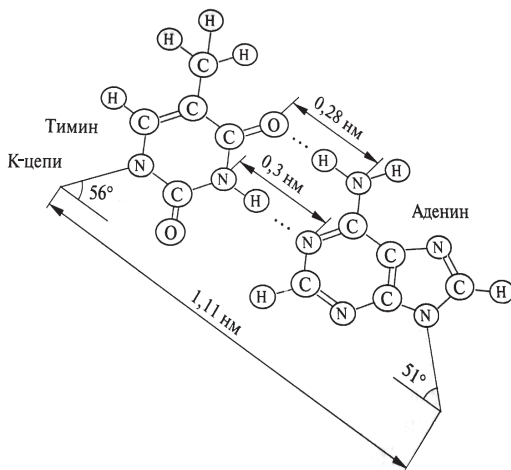
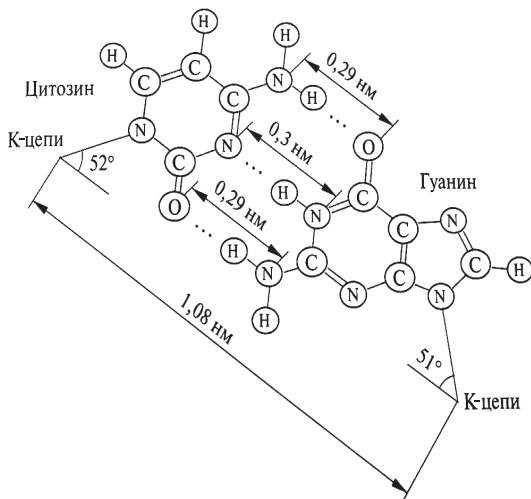
$$А + Ц = Г + Т \quad \text{или} \quad (А + Ц) / (Г + Т) = 1.$$
3. Количество аденина равно количеству тимина, а количество гуанина равно количеству цитозина:

$$А = Т; \quad Г = Ц \quad \text{или} \quad А / Т = 1; \quad Г / Ц = 1.$$

4. Количество гуанина и цитозина не равно количеству аденина и тимина.

$$A + T = G + Ц \quad \text{или} \quad (A + T) / (G + Ц) \neq 1.$$

Отношение $(A + T) / (G + Ц)$ – коэффициент видоспецифичности – величина индивидуальная и постоянная для каждого вида.



Комплементарное взаимодействие между азотистыми основаниями – образование пар А–Т, Г–Ц.

ТРЕТИЧНАЯ СТРУКТУРА ДНК (ДВОЙНАЯ СПИРАЛЬ)

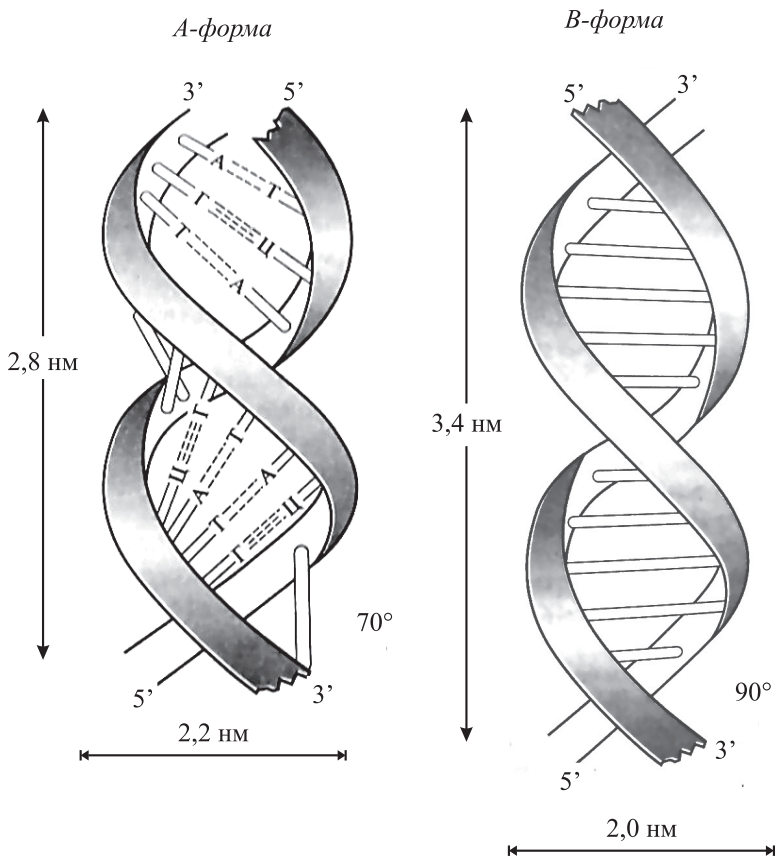


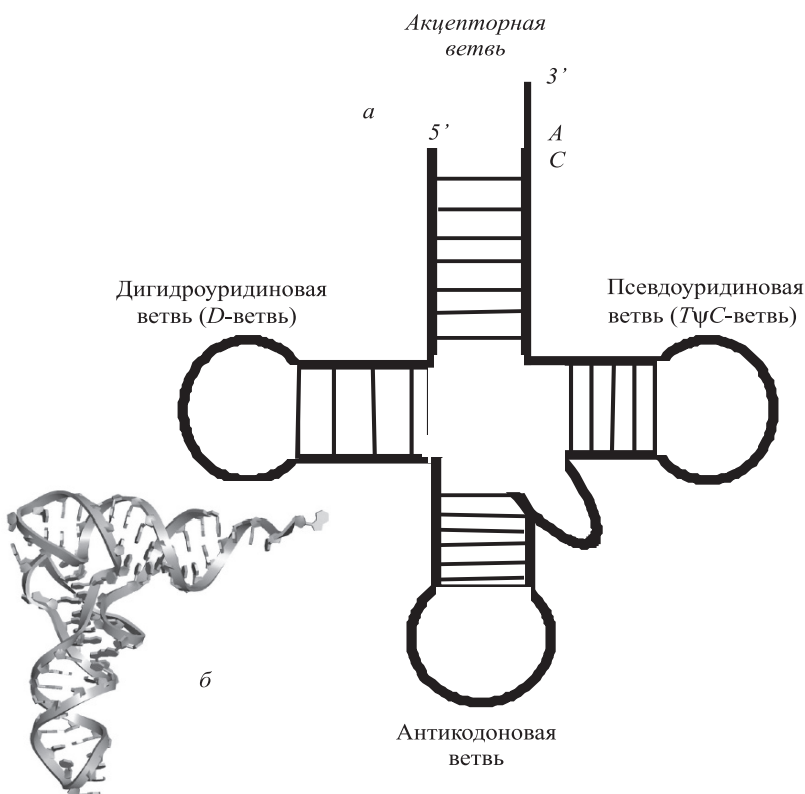
Таблица 5

Характеристика различных типов РНК

| Тип РНК | Транспортная тРНК | Рибосомальная рРНК | Матричная рРНК | Малая ядерная мяРНК (рибозимы) |
|-------------------------------|-------------------|--------------------|----------------|--------------------------------|
| Количество под-типов в клетке | >50 | 4 | >1000 | ~20 |
| Число нуклеотидов | 75–94 | 120–5000 | 400–6000 | 100–300 |

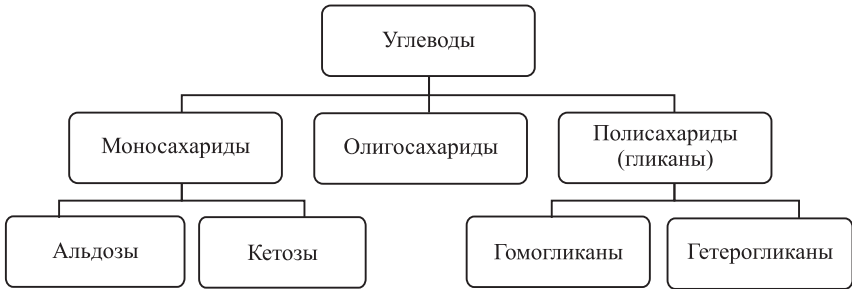
| Тип РНК | Транспортная тРНК | Рибосомальная рРНК | Матричная рРНК | Малая ядерная мяРНК (рибозимы) |
|---------------------|-------------------|--------------------|----------------|--------------------------------|
| Содержание в клетке | 10–20 % | 80 % | 5 % | 1 % |
| Функция | Трансляция | Трансляция | Трансляция | Сплайсинг |

ВТОРИЧНАЯ (а) И ТРЕТИЧНАЯ (б) СТРУКТУРА тРНК



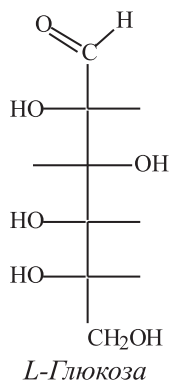
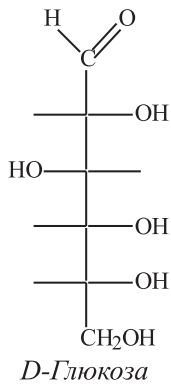
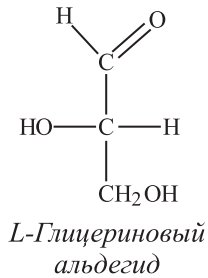
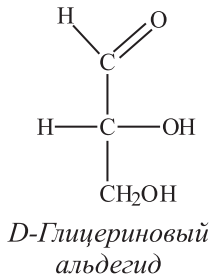
УГЛЕВОДЫ

КЛАССИФИКАЦИЯ УГЛЕВОДОВ

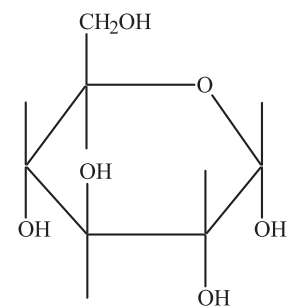
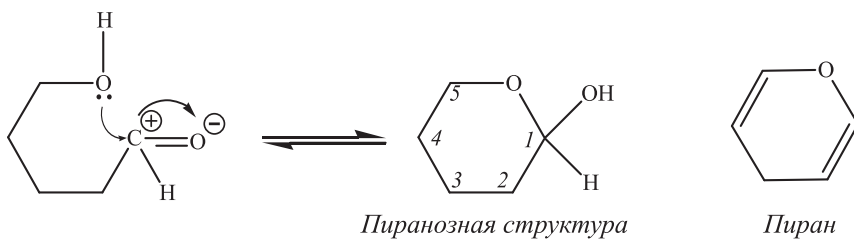
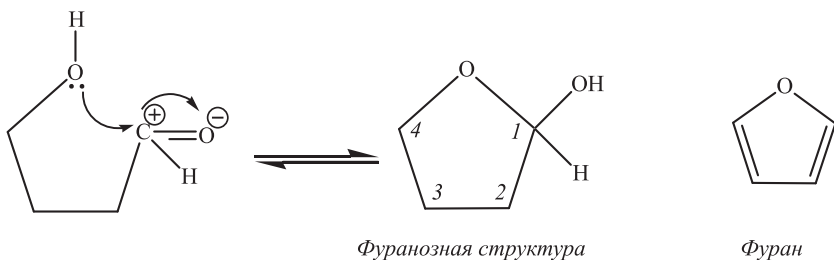


СТРУКТУРА И ИЗОМЕРИЯ САХАРОВ

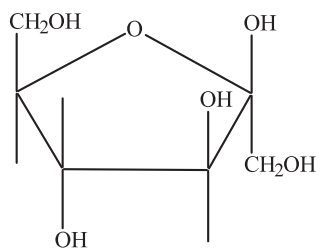
Стереоизомерия



Циклические формы сахаров



α-D-Глюкопираноза



β-D-фруктофураноза

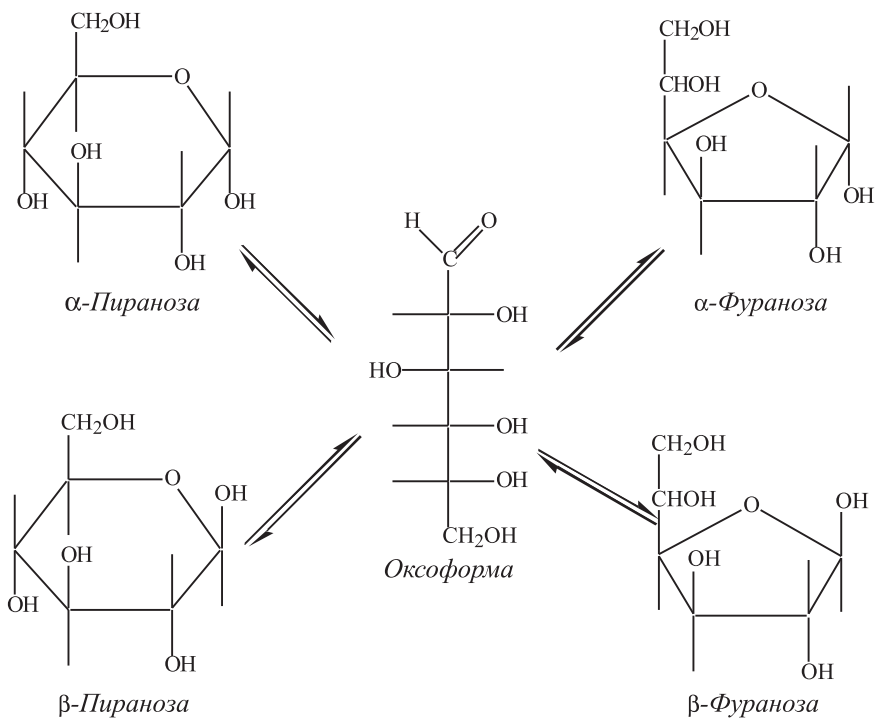
Изомерные формы сахаров

Энантиомеры – D- и L-ряды – D-глюкоза и L-глюкоза.

Эпимеры – отличаются по конфигурации одного хирального атома.

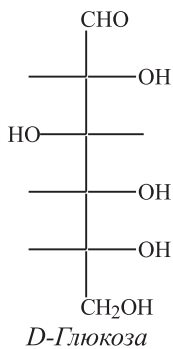
Аномеры – эпимеры по C1 углеродному атому (в циклической форме).

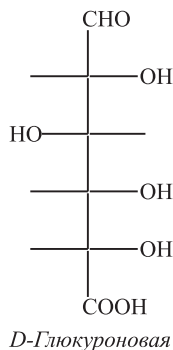
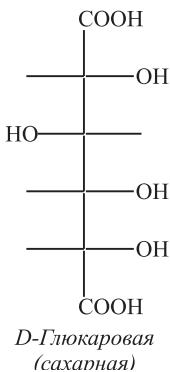
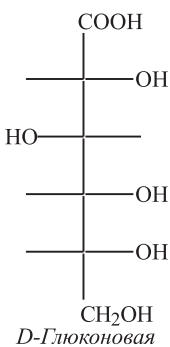
| | Энантиомеры | Эпимеры | Аномеры |
|-------------------|-------------|--------------------------------------|-------------------|
| D-глюкоза | L-глюкоза | D-манноза по C2 D-галактоза по C4 | |
| α-D-глюкопираноза | | | β-D-глюкопираноза |



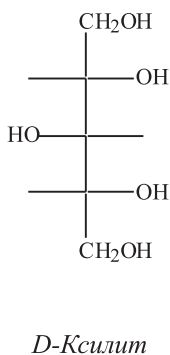
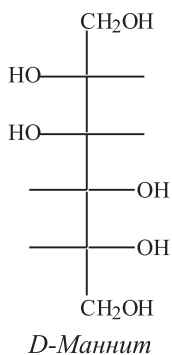
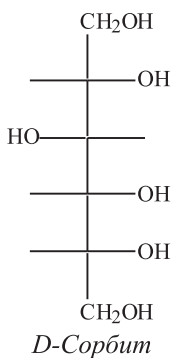
ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА МОНОСАХАРИДОВ

Окисление моносахаридов с образованием кислот

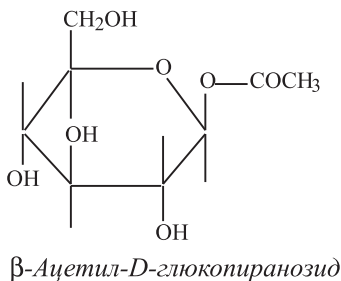
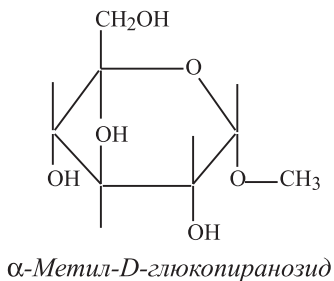




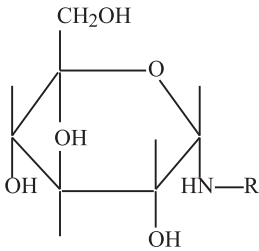
Восстановление моносахаридов до сахароспиртов



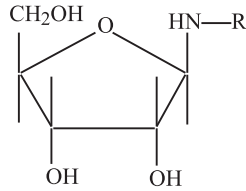
О-Гликозиды



N-Гликозиды

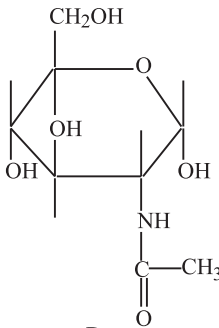


α-N-Глюкопиранозид

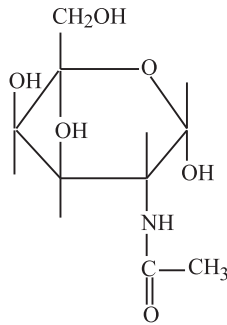


β-N-Рибофуранозид

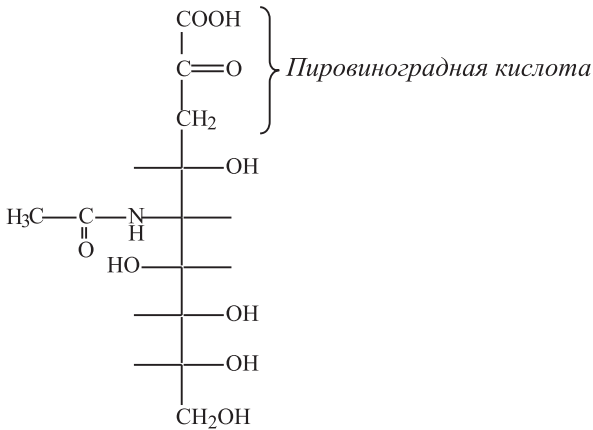
Аминосакхара



N-Ацетил-α-D-глюкозамин

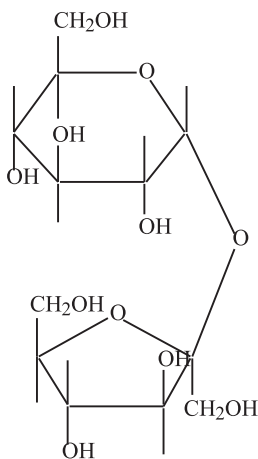


N-Ацетил-α-D-галактозамин

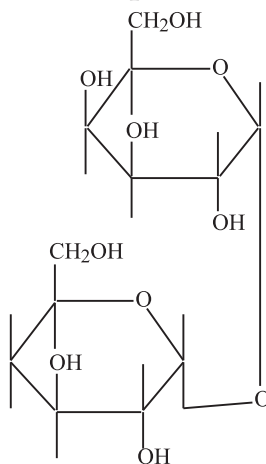


N-Ацетилнейраминная кислота, или сиаловая кислота

Невосстанавливающие дисахариды

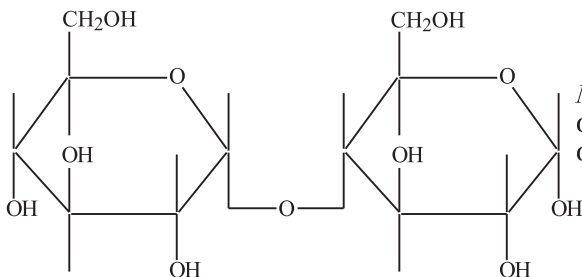


САХАРОЗА
 α -глюкопиранозил-(1 \rightarrow 2)-
 β -фруктофуранозид

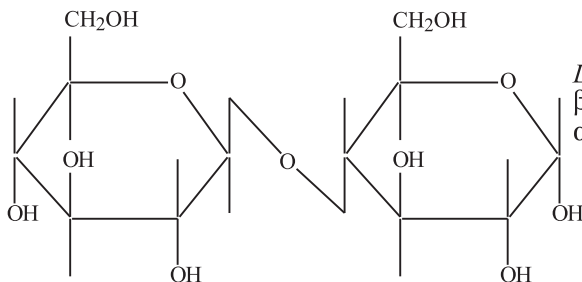


ТРЕГАЛОЗА
 α -глюкопиранозил-(1 \rightarrow 1)-
 α -глюкопиранозид

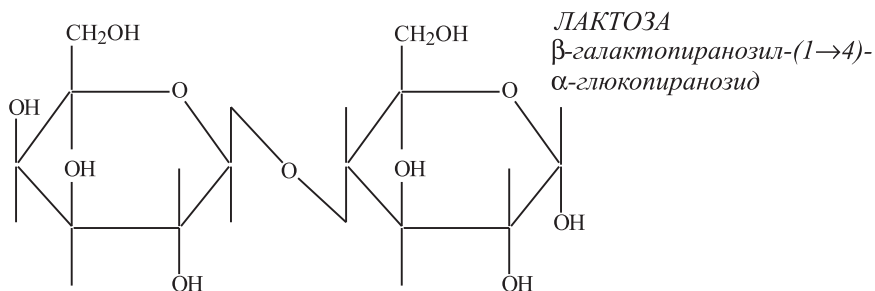
Восстанавливающие дисахариды



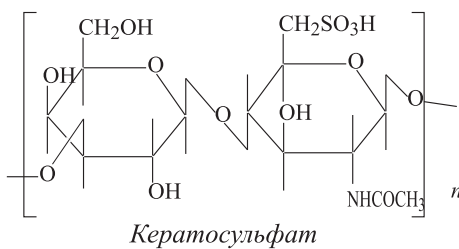
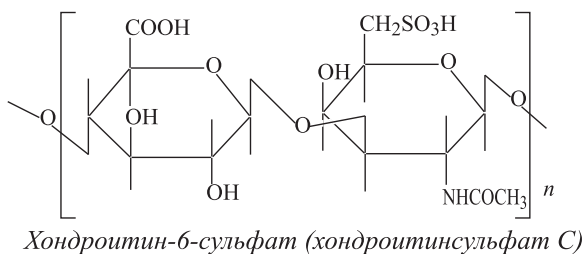
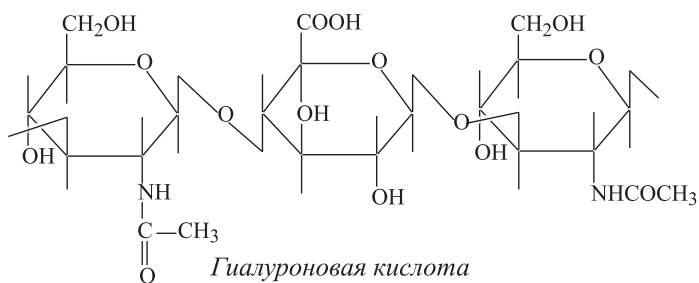
МАЛЬТОЗА
 α -глюкопиранозил-(1 \rightarrow 4)-
 α -глюкопиранозид

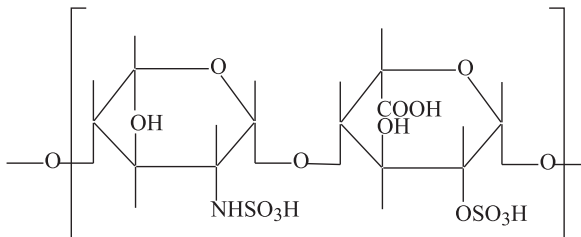


ЦЕЛЛОБИОЗА
 β -глюкопиранозил-(1 \rightarrow 4)-
 α -глюкопиранозид



Гетерогликаны





Гепарин

ЛИПИДЫ

КЛАССИФИКАЦИЯ ЛИПИДОВ

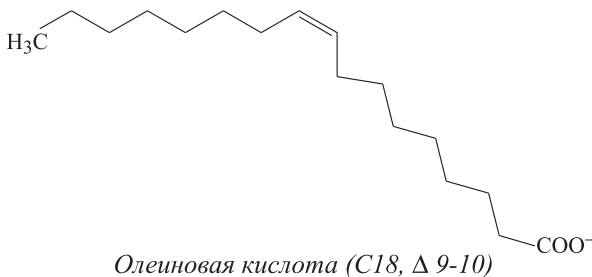
ПРОСТЫЕ

- Ацилглицерины
- Воска

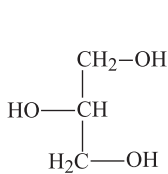
СЛОЖНЫЕ

- Фосфолипиды
 - Глицерофосфолипиды (производные фосфатидной кислоты)
 - Сфингофосфолипиды (производные церамида)
- Гликолипиды (гликосфинголипиды: цереброзиды, ганглиозиды)
- Стероиды

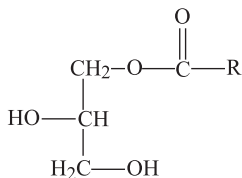
Жирные кислоты



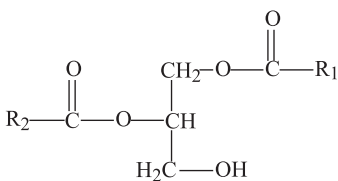
Простые липиды



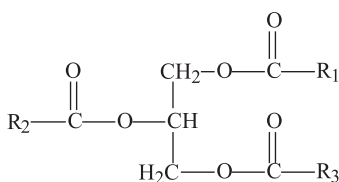
Глицерин (глицерол)



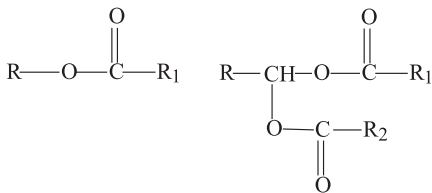
1-Ацилглицерол



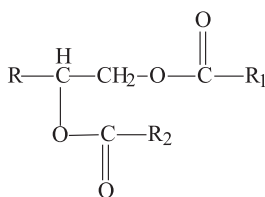
1, 2-Диацилглицерол



Триацилглицерол

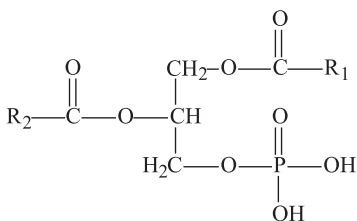


Воска

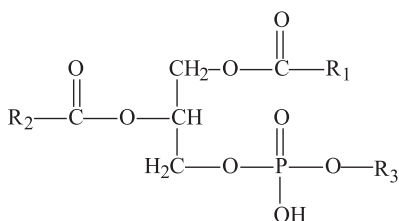


Сложные липиды

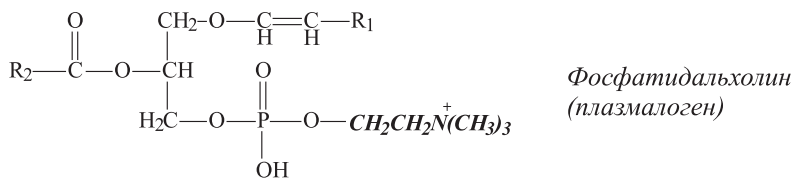
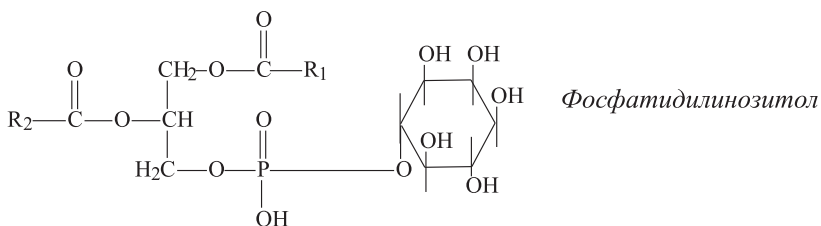
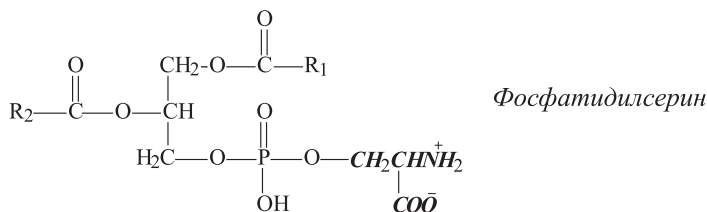
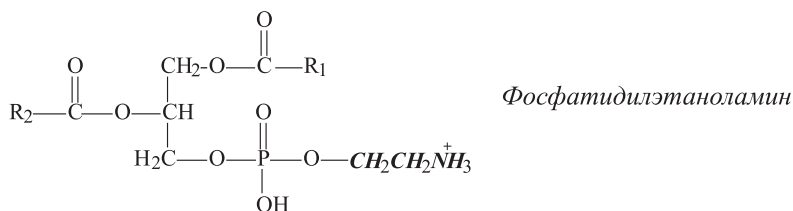
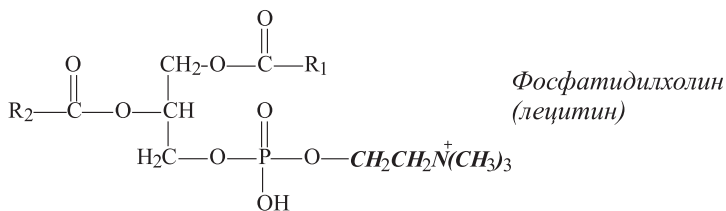
Фосфолипиды: глицерофосфолипиды и сфингофосфолипиды

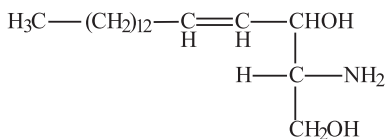


Фосфатидная кислота

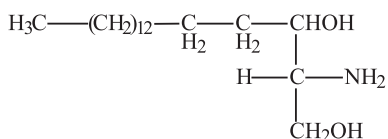


*Фосфоглицерид
(фосфатидил)*

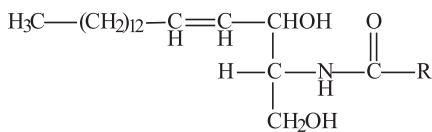




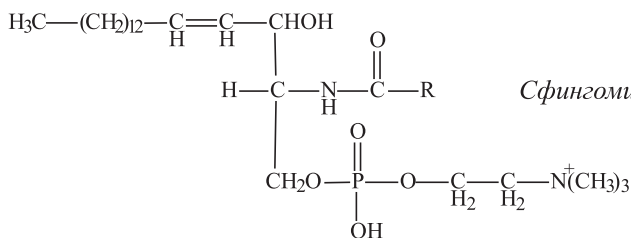
Сфингозин



Дигидросфингозин

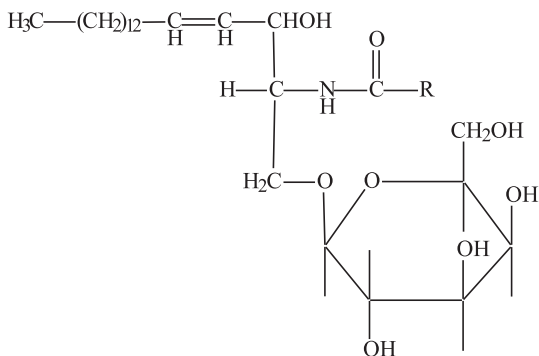


Церамид

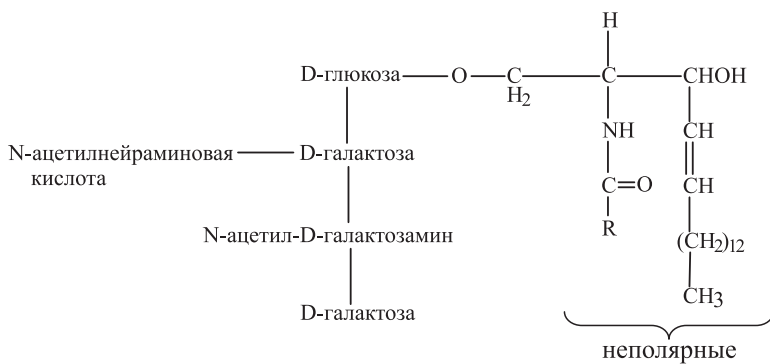


Сфингомиелин

Гликолипиды: цереброзиды и ганглиозиды

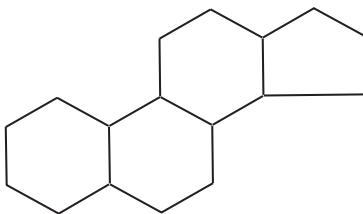


Галактозилцерамид

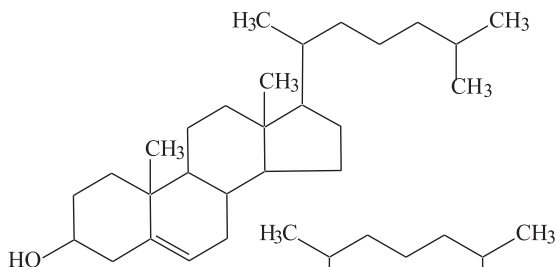


Ганглиозид

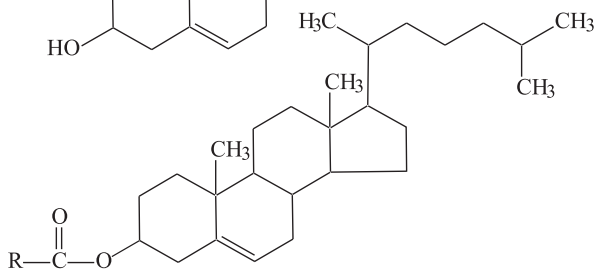
СТЕРОИДЫ



Циклопентанпергидрофенантрен



Холестерол



Холестерид

ВИТАМИНЫ И КОФЕРМЕНТЫ

Таблица 6

Жирорастворимые и водорастворимые витамины

| Буквенное обозначение | Название витамина |
|---------------------------------|----------------------|
| Жирорастворимые витамины | |
| A | Ретинол |
| D | Кальциферол |
| E | Токоферол |
| K | Филлохинон |
| Водорастворимые витамины | |
| B ₁ | Тиамин |
| B ₂ | Рибофлавин |
| B ₃ | Пантотеновая кислота |
| B ₅ (PP) | Никотинамид |
| B ₆ | Пиридоксин |
| B ₉ | Фолиевая кислота |
| B ₁₂ | Цианокобаламин |
| H | Биотин |
| C | Аскорбиновая кислота |
| P | Рутин |

Таблица 7

Функции некоторых витаминов в ферментативных процессах

| Витамин | Активная форма | Тип катализируемой реакции |
|---------------------------------|---|--|
| Водорастворимые витамины | | |
| Тиамин | Тиаминпирофосфат (ТПФ) | Декарбоксилирование α-кетокислот |
| Рибофлавин | Флавинмононуклеотид (ФМН) Флавинадениндинуклеотид (ФАД) | Окислительно-восстановительные реакции |
| Никотинамид | Никотинамиддинуклеотид (НАД) Никотинамиддинуклеотидфосфат (НАДФ) | Окислительно-восстановительные реакции |
| Пиридоксин | Пиридоксальфосфат | Перенос аминогрупп |
| Пантотеновая кислота | Коэнзим А | Перенос ацильных групп |
| Биотин | Биоцитин | Карбоксилирование |
| Жирорастворимые витамины | | |
| Ретинол | Ретиналь | Зрительные процессы |
| Кальциферол | 1,25-Дигидроксиколекальциферол | Регуляция обмена Са, Р |

Характеристика витаминов

| Вита-мин | Суточная потребность, источники | Биохимические функции | Авитаминоз, гиповитаминоз | Гипервитаминоз |
|----------------|--|---|---|--|
| B ₁ | 1,5–2 мг, отруби семян, хлебных злаков, риса, горох, дрожжи | Тиаминпирофосфат (ТПФ) – кофермент декарбоксилаз, транскетолазы. Участвует в окислительном декарбоксилировании α-кетокислот; Снижает содержание сахара в крови, ликвидирует метаболический ацидоз, активирует инсулин | Нарушение углеводного обмена, накопление пировиноградной и молочной кислоты. Поражение нервной системы (полиневриты, мышечная слабость, нарушение чувствительности). Развитие бери-бери, энцефалопатии, пеллагры. Нарушение деятельности сердечно-сосудистой системы (сердечная недостаточность с отеками, нарушением ритма). Нарушение функционирования ЖКТ | Аллергические реакции (зуд, крапивница. Ангioneвротический отек). Угнетение ЦНС, мышечная слабость, артериальная гипотония |
| B ₂ | 2–4 мг, печень, почки, яйца, молочные продукты, дрожжи, зерновые злаки, рыба | Усиливает синтез АТФ, белка, эритропоэтина в почках, гемоглобина. Участвует в окислительно-восстановительных реакциях. Повышает неспецифическую резистентность организма. Увеличивает синтез желудочного сока, желчи. Повышает возбудимость ЦНС | Задержка физического развития у детей, поражение ЦНС. Снижение секреции пищеварительных ферментов. Дисфункция капилляров. Глоссит. Светобоязнь, слезотечение | Нет |

| Вита- мин | Суточная потреб- ность, источники | Биохимические функции | Авитаминоз, гиповитаминоз | Гипервитаминоз |
|----------------|---|--|---|---|
| В ₃ | 10–12 мг, дрожжи, печень, яйца, икра рыб, зерновые, молоко, мясо, синтезируется микрофлорой кишечника | Входит в состав коэнзима А-акцептора и переносчика ацильных остатков, участвует в окислении и биосинтезе жирных кислот. Участвует в окислительном декарбоксилировании кетокислот. Участвует в цикле Кребса, синтезе кортикостероидов, ацетилхолина, нуклеиновых кислот, белков, АТФ, триглицеридов, фосфолипидов, ацетилглицоламинов | Утомляемость, нарушения сна, мышечные боли | Диспепсия. Нарушение всасывания кальция, глюкозы, витамина Е |
| В ₆ | 2–3 мг, дрожжи, зерна злаков, бобовые культуры, бананы, мясо, рыба, печень, почки | Пиридоксальфосфат принимает участие в азотистом обмене (трансаминировании, дезаминировании, декарбоксилировании, превращениях триптофана, серосодержащих и оксиаминокислот); Увеличивает транспорт аминокислот через плазматическую мембрану; Участвует в образовании пуринов, пиримидинов, гема; Стимулирует обезвреживающую функцию печени | У детей – судороги, дерматит. Себорейный дерматит глоссит, стоматит, судороги | Аллергические реакции (кожный зуд). Увеличение кислотности желудочного сока |

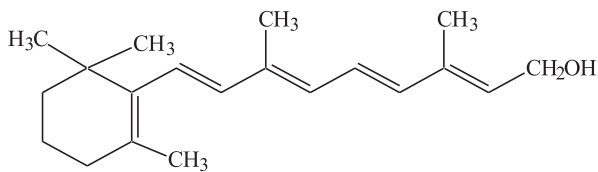
| | | | | |
|-----------------------|---|--|---|---|
| B_9 (B_{12}) | 0,1–0,2 мг, свежие овощи (салат, шпинат, помидоры, морковь), печень, сыр, яйца, почки | Является кофактором ферментов, участвующих в синтезе пуринов, пиримидинов (опосредованно), превращении некоторых аминокислот (транسمетилирование гистидина, метионина) | Макроцитарная анемия (синтез незрелых эритроцитов, снижение эритропоэза), лейкопения, тромбоцитопения. Глоссит, стоматит, язвенный гастрит, энтерит | Нет |
| B_{12} | 0,002–0,005 мг, говяжья печень и почки, синтезируется микробиотой кишечника. | Коферментные формы 5-дезоксиаденозилкобаламин, метилкобаламин переносят метильные группы и водород (синтез метионина, ацетата, дезоксирибонуклеотидов). Липотропный эффект | Анемия Аддисона-Бирмера. Атрофия слизистой желудка | Повышение свертываемости крови |
| РР | 15–20 мг, мясные продукты, печень | Является кофактором НАД и ФАД-дегидрогеназ, участвующих в окислительно-восстановительных реакциях. Участвует в синтезе белков, жиров, углеводов, АТФ, активирует микросомальное окисление. Снижает содержание холестерина и жирных кислот в крови. Стимулирует эритропоэз, фибринолитическую систему крови, препятствует агрегации тромбоцитов. Оказывает спазмолитическое действие на ЖКТ, выделятельную систему. Стимулирует тормозные процессы в ЦНС | Пеллагра, дерматит, глоссит. Белковая дистрофия. Гастрит | Сосудистые реакции (покраснение кожи, кожные сыпи, зуд). При длительном применении возможна жировая дистрофия печени |



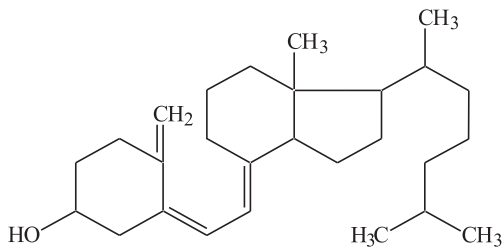
| Вита-мин | Суточная потребность, источники | Биохимические функции | Авитаминоз, гиповитаминоз | Гипервитаминоз |
|---|--|--|---|--|
| С | 100–200 мг, овощи, шиповник, черная смородина, цитрусовые | Участвует в окислительно-восстановительных реакциях. Стимулирует синтез тиаулоновой кислоты и хондроитинсульфата, коллагена. Активирует синтез антител, интерферона, иммуноглобулина Е. Снижает проницаемость сосудов. Усиливает синтетическую и детоксикационную функцию печени | Ломкость сосудов. Цинга. Кровоизлияния в мышцы, боли в конечностях. Снижение сопротивляемости к инфекциям | Повышение возбудимости ЦНС, нарушение сна. Повышение АД, снижение проницаемости сосудов, уменьшение времени свертывания крови, аллергия |
| А ₁ – ретинол, А ₂ – дигидро-ретинол | 1,5–2 мг, рыбий жир, коровье масло, желток, печень, молоко и молочные продукты | Регуляция синтеза антител, интерферона, лизоцима, регенерация и дифференцировка клеток кожи и слизистых, предупреждение ороговения. Регуляция синтеза липидов. Фоторецепция (входит в состав родопсина палочек, отвечает за цветное зрение). Регулирует деятельность вкусовых, обонятельных, вестибулярных рецепторов, предотвращает тугоухость. Стимулирует фагоцитоз | Поражение слизистых оболочек, ЖКТ. Сухость кожи, шелушение. Снижение секреции слюнных желез. Ксерофтальмия (сухость роговицы глаза). Снижение устойчивости к инфекциям, замедление заживления ран | Поражение кожи (сухость, пигментация). Выпадение волос, ломкость ногтей остеопороз, гипертальциемия. Уменьшение свертываемости крови. Светобоязнь (у детей – судороги |

| | | | | |
|---|---|--|--|--|
| Е (α, β, γ, δ – токоферолы) | 20–30 мг, растительные масла | Регуляция окислительных процессов; Антиоксидант; Тормозит агрегацию тромбоцитов, предупреждает атеросклероз; Усиливает синтез гема; Активирует эритропоэз, улучшает клеточное дыхание; Стимулирует синтез гонадотропинов, развитие плаценты, образование хорионического гонадотропина | Выраженная дистрофия скелетных мышц и миокарда, изменение щитовидной железы, печени, ЦНС | Нарушение функций печени |
| D ₂ – эргокальциферол, D ₃ – холекальциферол | 2,5 мкг, печень тунца, трески, коровье молоко, масло, яйца | Повышает проницаемость эпителия кишечника для кальция и фосфора, усиливает синтез щелочной фосфатазы, коллагена, регулирует рассасывание костной ткани в диафизах, повышает реабсорбцию кальция, фосфора, натрия, цитратов, аминокислот в проксимальных канальцах почек, снижает синтез паратормона | Рахит Гипертрофия хряща, остеомаляция, остеопороз | Гиперкальциемия, гиперфосфатемия, деминерализация костей, отложение кальция в мышцах, почках, сосудах, сердце, легких, кишечнике |
| K ₁ – филохиноны, нафтохиноны | 0,2–0,3 мг, шпинат, капуста, тыква, печень, синтезируется микрофлорой кишечника | Стимулирует синтез факторов свертывания крови в печени. Благоприятствует синтезу АТФ, креатинфосфата, ряда ферментов | Кровоточивость тканей, геморрагический диатез | Нет |

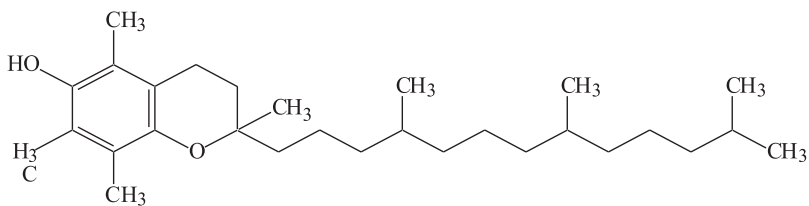
ЖИРОРАСТВОРИМЫЕ ВИТАМИНЫ



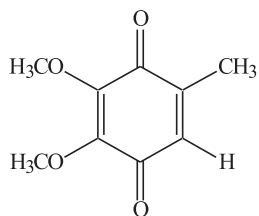
Витамин A₁ (ретинол)



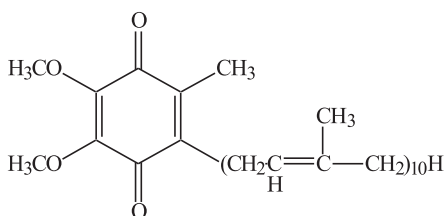
Витамин D₃ (холекальциферол)



Витамин E (токоферол)

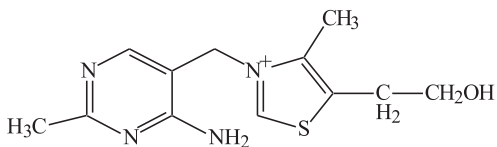


Коэнзим Q₀

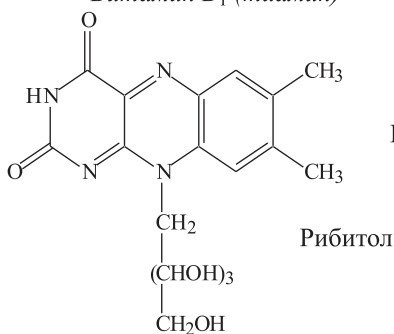


Коэнзим Q₁₀

ВОДОРАСТВОРИМЫЕ ВИТАМИНЫ И ИХ ПРОИЗВОДНЫЕ



Витамин B₁ (тиамин)

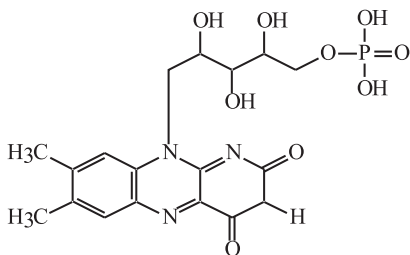


Изоаллоксазиновое ядро

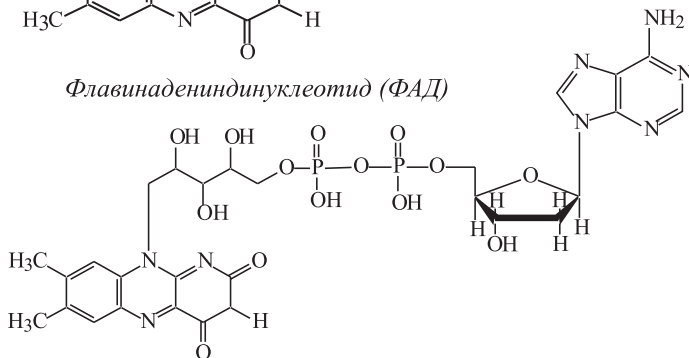
Рибитол

Витамин B₂ (рибофлавин)

*Флавиномононуклеотид
(рибофлавинфосфат, ФМН)*

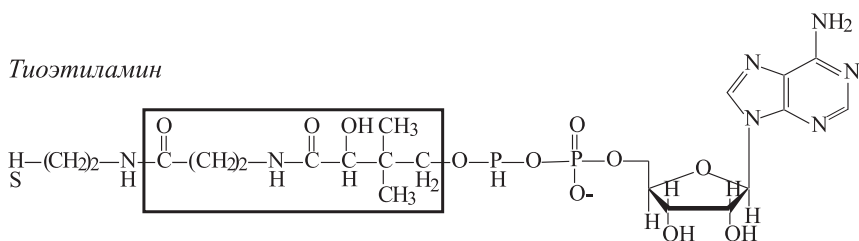


Флавинадениндинуклеотид (ФАД)



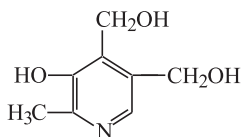
3'-Фосфоаденозин-5'-дифосфат

Тиоэтиламин

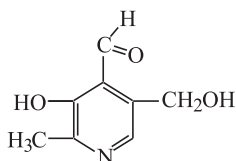


Витамин В₃
(пантотеновая кислота)

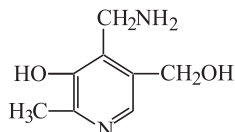
Коэнзим А



Пиридоксол

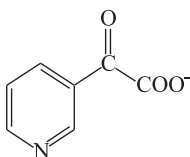


Пиридоксаль

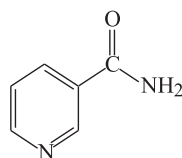


Пиридоксамин

Витамин В₆



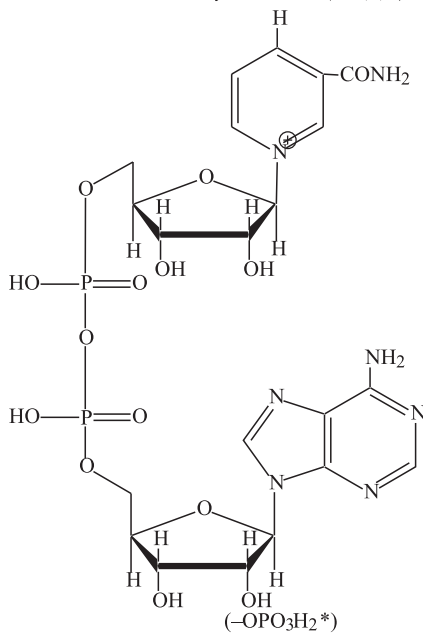
Никотиновая кислота



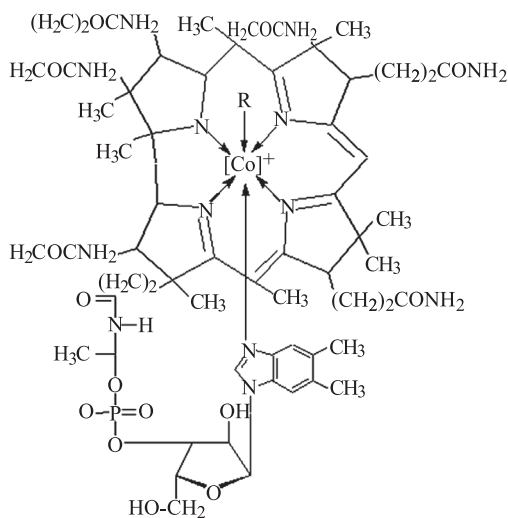
Витамин В₅ (PP)
(никотинамид)

Витамин В₅ (PP)

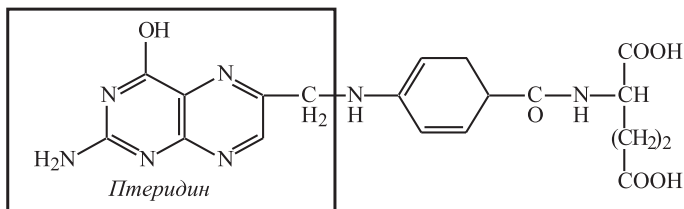
Никотинамиддинуклеотид (НАД⁺)



* Никотинамиддинуклеотид фосфат (НАДФ⁺)



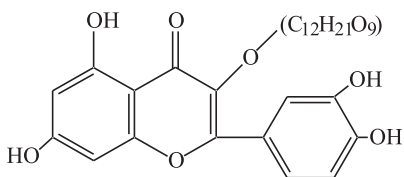
Витамин В₁₂ (цианокобаламин)



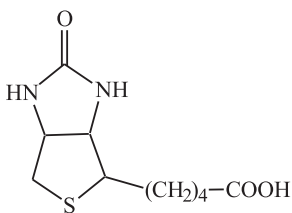
Витамин В₉ (фолиевая кислота)



*Витамин С
(аскорбиновая кислота)*



*Витамин Р
(рутин)*

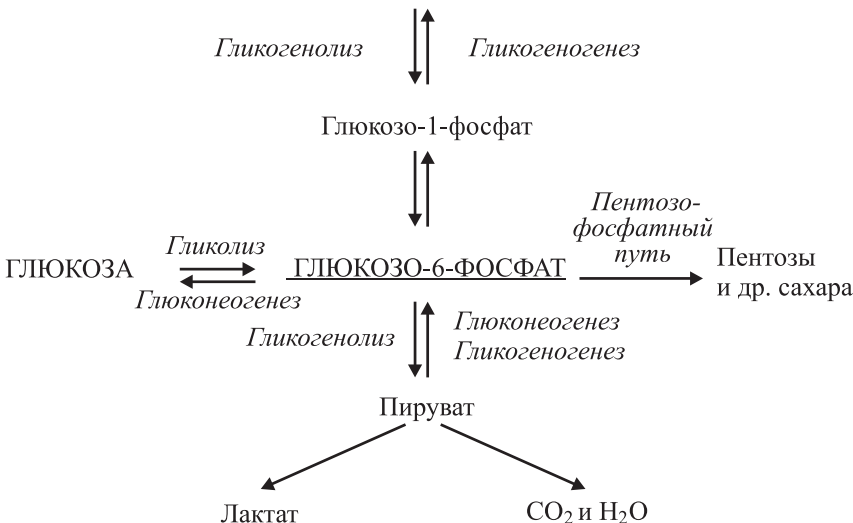


Витамин Н (биотин)

ОБМЕН УГЛЕВОДАМИ

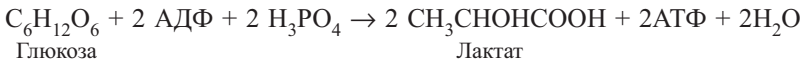
МЕТАБОЛИЗМ ГЛЮКОЗЫ-6-ФОСФАТ – КЛЮЧЕВОГО МЕТАБОЛИТА УГЛЕВОДНОГО ОБМЕНА

ГЛИКОГЕН

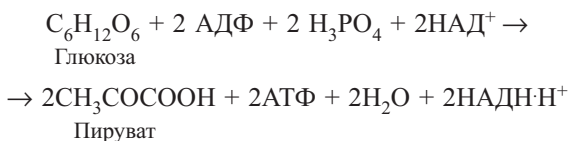


ГЛИКОЛИЗ – ДИХОТОМИЧЕСКИЙ ПУТЬ КАТАБОЛИЗМА ГЛЮКОЗЫ

Анаэробный гликолиз (11 реакций)



Аэробный гликолиз (10 реакций)

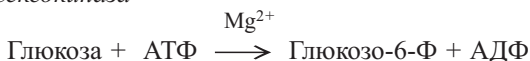


Стадии гликолиза

1. Подготовительная стадия (стадия активации глюкозы):
 - 5 реакций;
 - 1 молекула гексозы (глюкозы) расщепляется на 2 молекулы триоз глицеральдегидфосфата).
2. Стадия генерации АТФ:
 - 6 (5) реакций;
 - энергия окислительных реакций трансформируется в химическую энергию АТФ (субстратное фосфорилирование).

Подготовительная стадия гликолиза

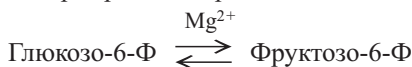
1. Необратимая реакция фосфорилирования глюкозы:
фермент: *гексокиназа*



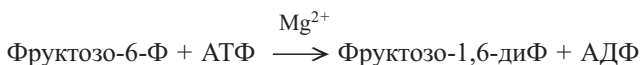
Активаторы: *АДФ, H₃PO₄*.

Ингибиторы: *глюкозо-6-Ф, фосфоенолпируват*.

2. Обратимая реакция изомеризации глюкозо-6-фосфата:
фермент: *глюкозо-6-фосфатизомераза*



3. Необратимая реакция фосфорилирования фруктозо-ф-фосфата (ключевая стадия гликолиза):
фермент: *фосфофруктокиназа*

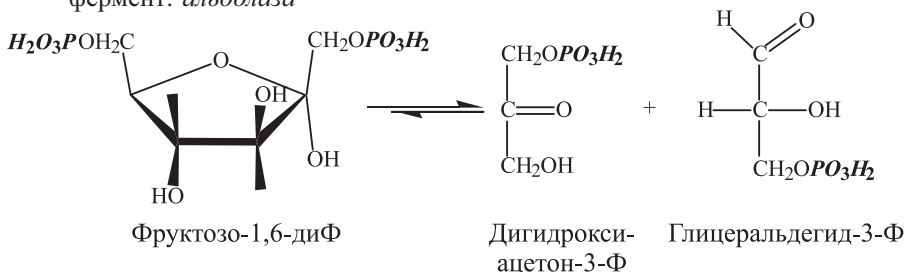


Активаторы: *АДФ, АМФ, H₃PO₄, K⁺*.

Ингибиторы: *АТФ, цитрат, НАДН*.

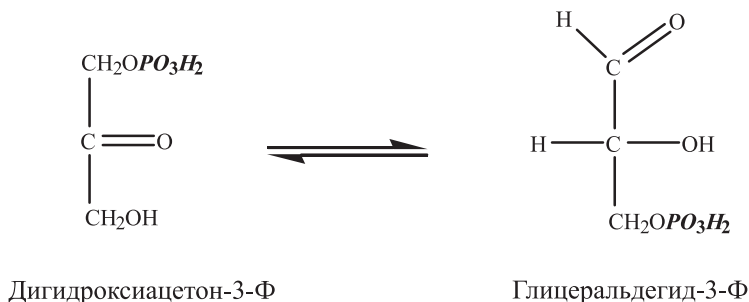
4. Обратимая реакция дихотомического расщепления фруктозо-1,6-дифосфата:

фермент: *альдолаза*



5. Обратимая реакция изомеризации дигидроксиацетона-3-фосфат в глицеральдегид-3-фосфат:

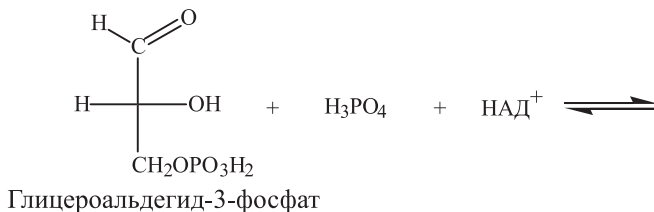
фермент: *триозофосфатизомераза*

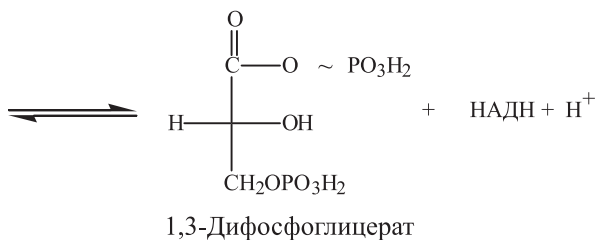


Стадия генерации АТФ

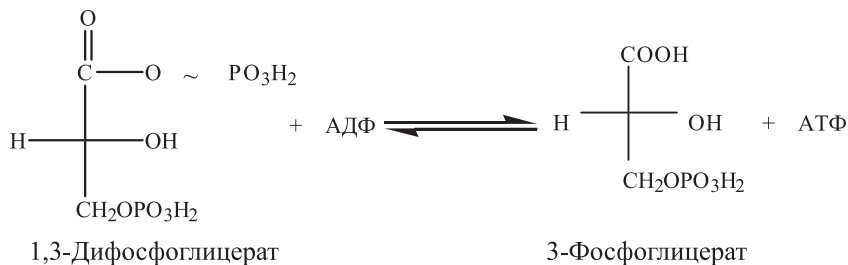
6. Окисление глицеральдегид-3-фосфата до 1,3-дифосфоглицерата (реакция гликолитической оксиредукции)

фермент: *глицеральдегид-3-фосфат-дегидрогеназа*.

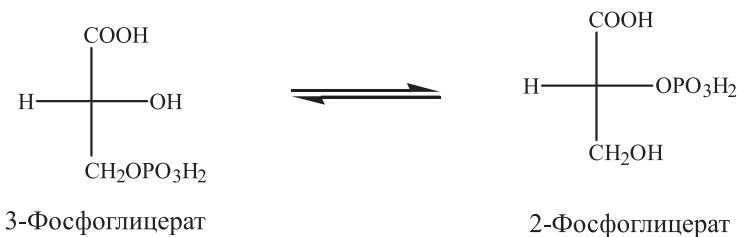




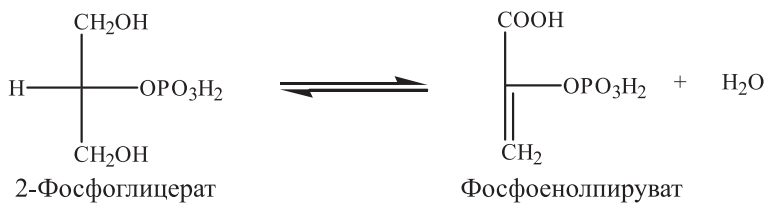
7. Субстратное фосфорилирование АДФ (7):
 фермент: *фосфоглицераткиназа*



8. Реакция изомеризации 3-фосфоглицерата в 2-фосфоглицерат:

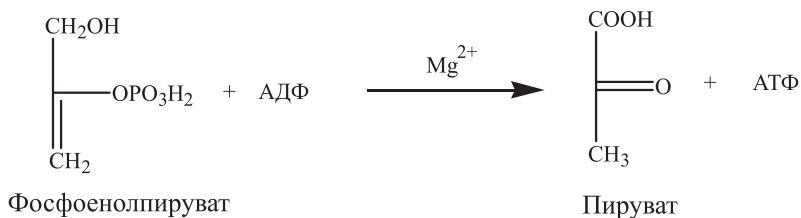


9. Реакция енолизации:
 фермент: *енолаза*



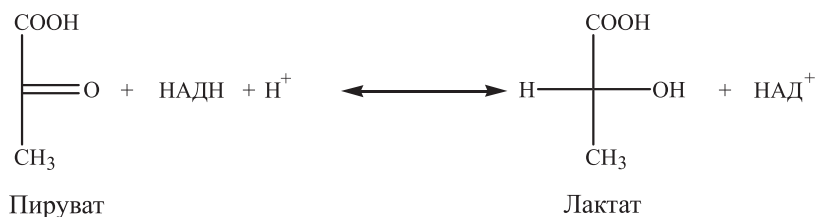
10. Реакция субстратного фосфорилирования:

фермент: *пируваткиназа*



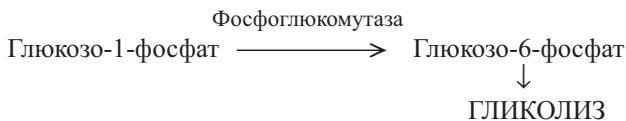
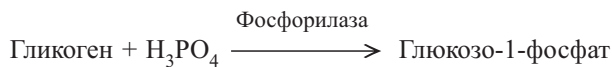
11. Реакция обратимого восстановления пировиноградной кислоты до молочной кислоты (в анаэробных условиях):

фермент: *лактатдегидрогеназа*



ГЛИКОГЕНОЛИЗ

Гликогенолиз – расщепление гликогена по гликолитическому (дихотомическому) пути окисления.



ГЛЮКОНЕОГЕНЕЗ

Глюконеогенез – синтез глюкозы из неуглеводных соединений по пути обратимых реакций гликолиза.

Необратимые стадии глюконеогенеза:

1. Образование фосфоенолпирувата:

– образование в митохондриях оксалоацетата из пирувата

фермент: *пируваткарбоксилаза*



– перенос оксалоацетата из митохондрий в цитоплазму с участием НАД-зависимой малатдегидрогеназы;

– образование фосфоенолпирувата из оксалоацетата в цитоплазме

фермент: *фосфоенолпируваткарбоксикиназа*



2. Образование фруктозо-6-фосфата из фруктозо-1,6-дифосфата:

фермент: *фруктозодифосфатаза*



3. Образование глюкозы из глюкозо-6-фосфата:

фермент: *глюкозофосфатаза*



ГЛИКОГЕНОГЕНЕЗ

Гликогеногенез – синтез гликогена из глюкозы.

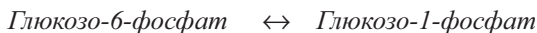
1. Образование глюкозо-6-фосфата:

фермент: *гексокиназа*



2. Образование глюкозо-1-фосфата:

фермент: *фосфоглюкомутаза*



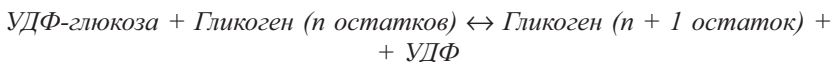
3. Образование УДФ-глюкозы:

фермент: *глюкозо-1-фосфат-уридилтрансферазы*



4. Перенос глюкозидного остатка от УДФ глюкозы на затравочную цепь гликогена:

фермент: *гликоген-синтаза*



ОКИСЛИТЕЛЬНОЕ ДЕКАРБОКСИЛИРОВАНИЕ ПИРОВИНОГРАДНОЙ КИСЛОТЫ

Мультиферментный пируватдегидрогеназный комплекс

Ферменты:

Пируватдегидрогеназа (E₁)

*Дигидролипоилацетил-
трансфераза (E₂)*

Дигидролипоилдегидрогеназа (E₃)

Кофакторы:

Тиаминпирофосфат (ТПФ)

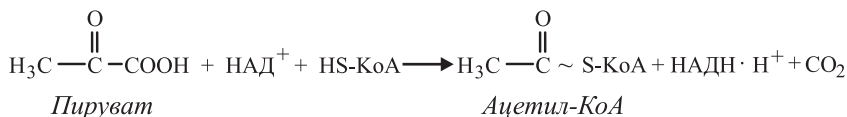
Липоевая кислота (ЛК)

ФАД

HS-KoA

НАД⁺

Локализация: матрикс митохондрий

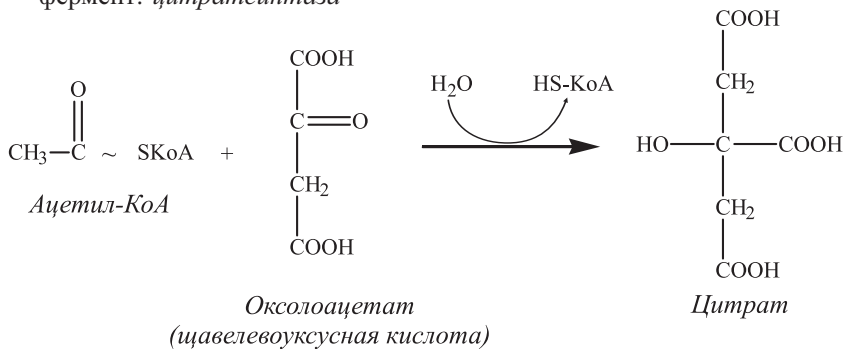


Энергетический выход: 3 АТФ (образуются при передаче восстановительных эквивалентов от восстановленного НАДН в электронтранспортную цепь митохондрий).

ЦИКЛ ТРИКАРБОНОВЫХ КИСЛОТ (ЦИКЛ КРЕБСА, ЦИКЛ ЛИМОННОЙ КИСЛОТЫ)

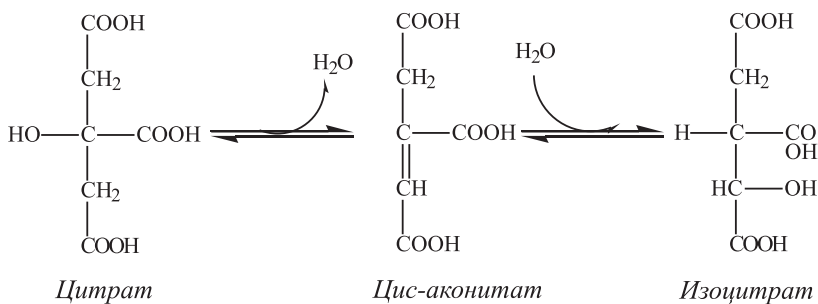
1. Конденсация ацетил-KoA с оксалоацетатом:

фермент: *цитратсинтаза*



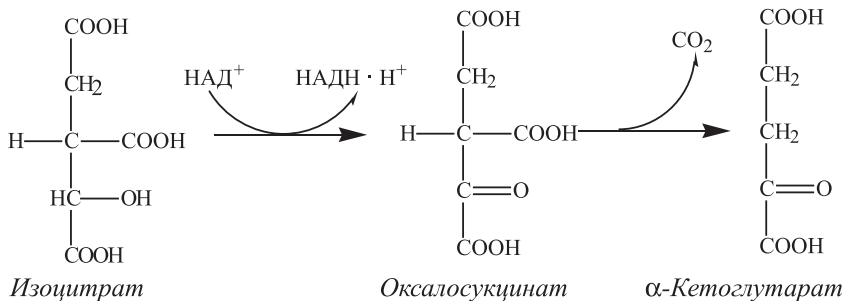
2. Изомеризация цитрата в изоцитрат:

фермент: *аконитаза*



3. Окислительное декарбоксилирование изоцитрата:

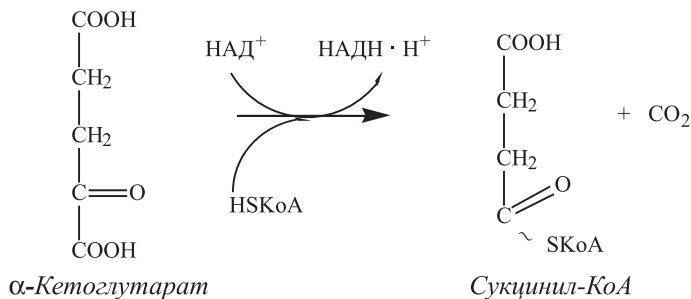
фермент: *изоцитратдегидрогеназа*



4. Окислительное декарбоксилирование α -кетоглутарата

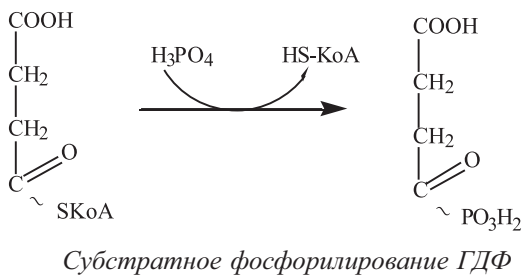
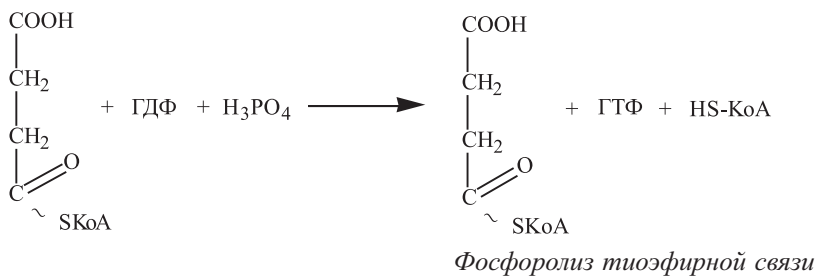
ферменты: α -кетоглутаратдегидрогеназа
дегидролипилтранссуццинилаза
дегидролипилдегидрогеназа

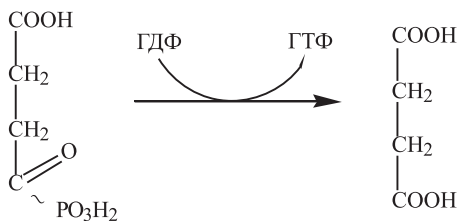
коферменты: ТПФ, липоевая кислота, ФАД, HS-CoA, НАД⁺



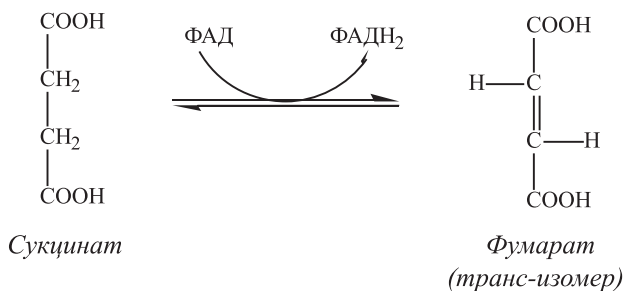
5. Субстратное фосфорилирование

фермент: *сукцинил-КоА-синтетаза*

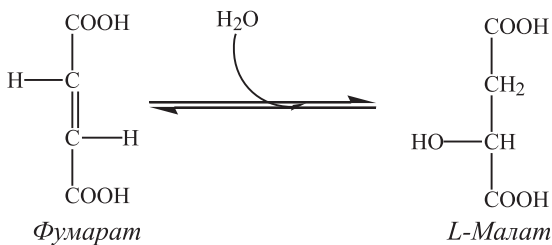




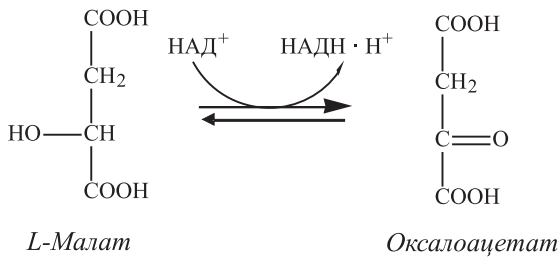
6. Дегидрирование сукцината
фермент: *сукцинатдегидрогеназа*



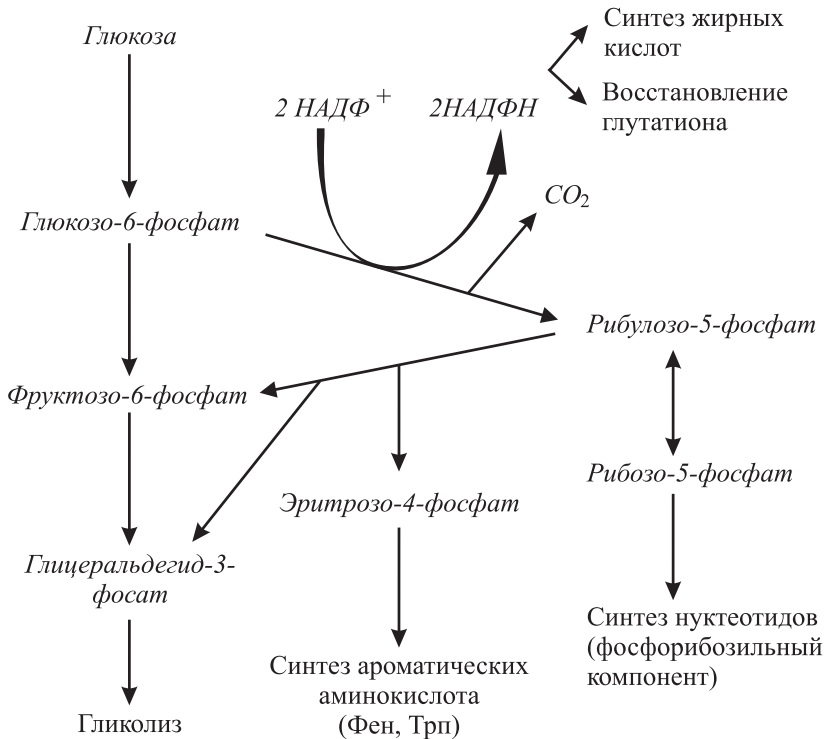
7. Гидратация фумарата
фермент: *фумараза*



8. Регенерация оксалоацетата
фермент: *малатдегидрогеназа*



ПЕНТОЗОМОНОФОСФАТНЫЙ ПУТЬ



ОКИСЛИТЕЛЬНАЯ СТАДИЯ (3 реакции):

– окисление глюкозо-6-фосфата до пятиуглеродных сахарофосфатов.

НЕОКИСЛИТЕЛЬНАЯ СТАДИЯ (5 реакций):

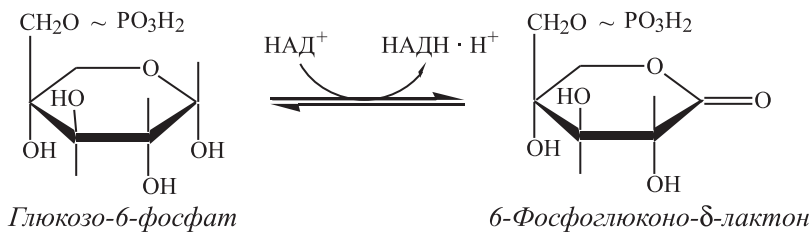
– взаимопревращения трех-, четырех-, пяти-, шести- и семиуглеродных сахарофосфатов, в ходе которых регенерируется глюкозо-6-фосфат.

Окислительная стадия

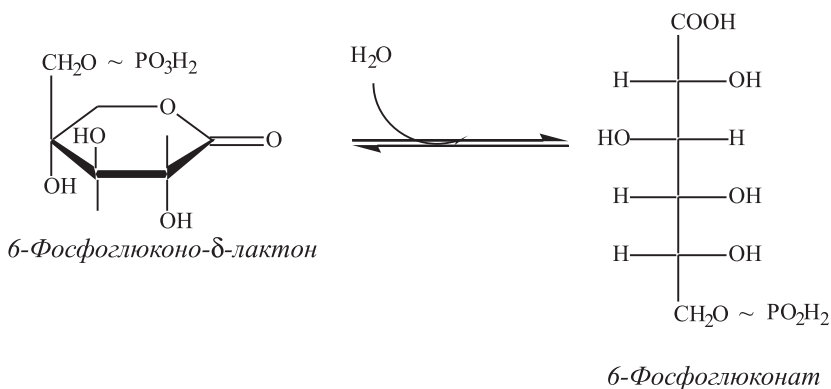
1. Реакция дегидрирования глюкозо-6-фосфата:

фермент: *глюкозо-6-фосфатдегидрогеназа*

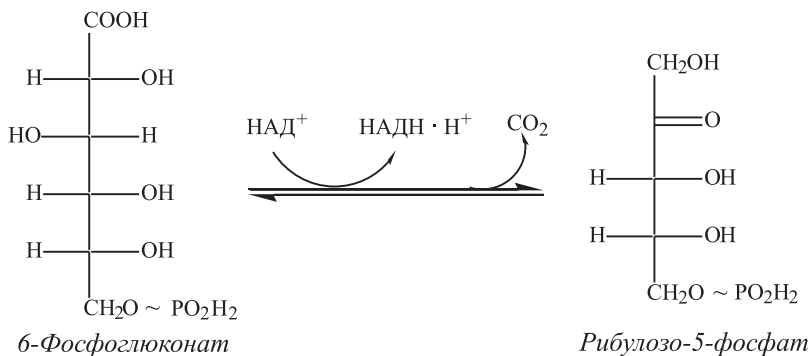
кофермент: НАДФ^+



2. Реакция гидролиза 6-фосфоглюколактона:
 фермент: 6-фосфоглюколактоназа



3. Реакция декарбоксилирования 6-фосфоглюконата:
 фермент: 6-фосфоглюконатдегидрогеназа
 кофермент: НАДФ⁺



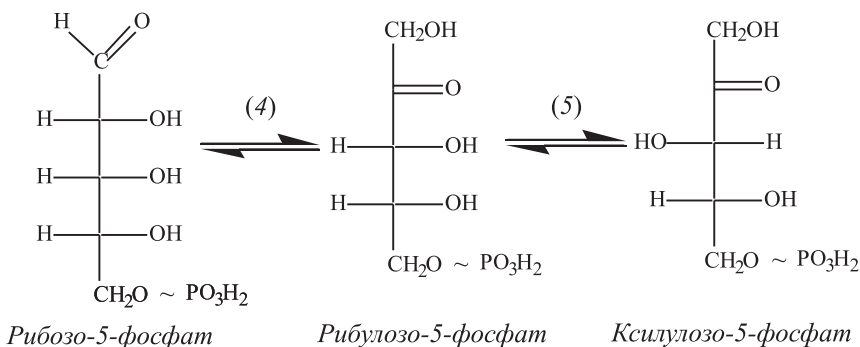
Неокислительная стадия

4. Реакция изомеризации рибулозо-5-фосфата в рибозо-5-фосфат:

фермент: *изомераза*

5. Реакции эпимеризации рибулозо-5-фосфата в ксилулозо-5-фосфат

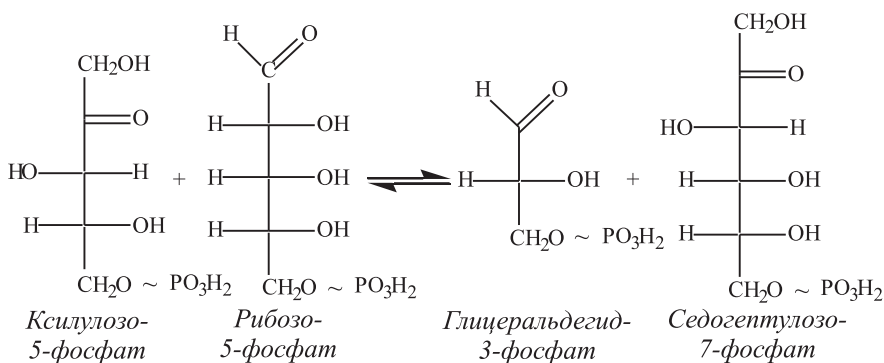
фермент: *эпимераза*



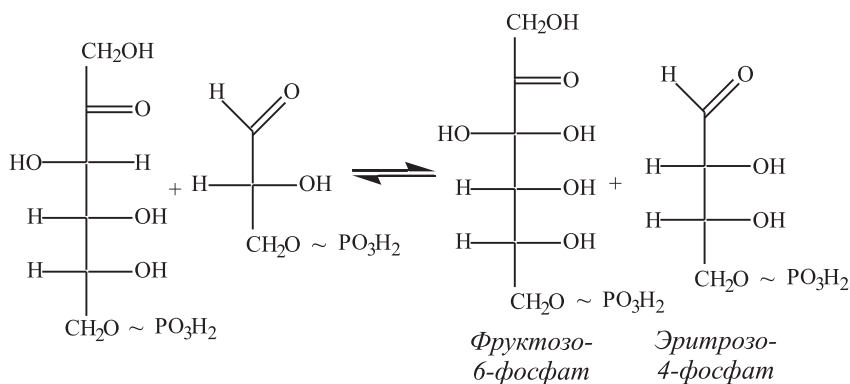
6. Транскетолазная реакция – перенос гликоальдегидной группы:

фермент: *транскетолаза*

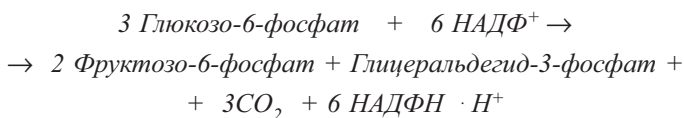
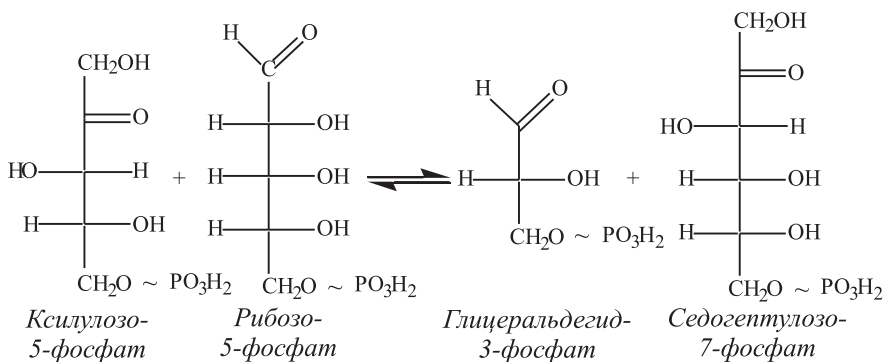
кофермент: *тиаминпирофосфат (ТПФ)*



7. Трансальдозная реакция – перенос остатка диоксиацетона:
фермент: *трансальдолаза*



8. Транскетолазная реакция:
фермент: *транскетолаза*
кофермент: *тиаминпирофосфат (ТПФ)*



или

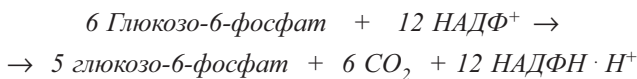
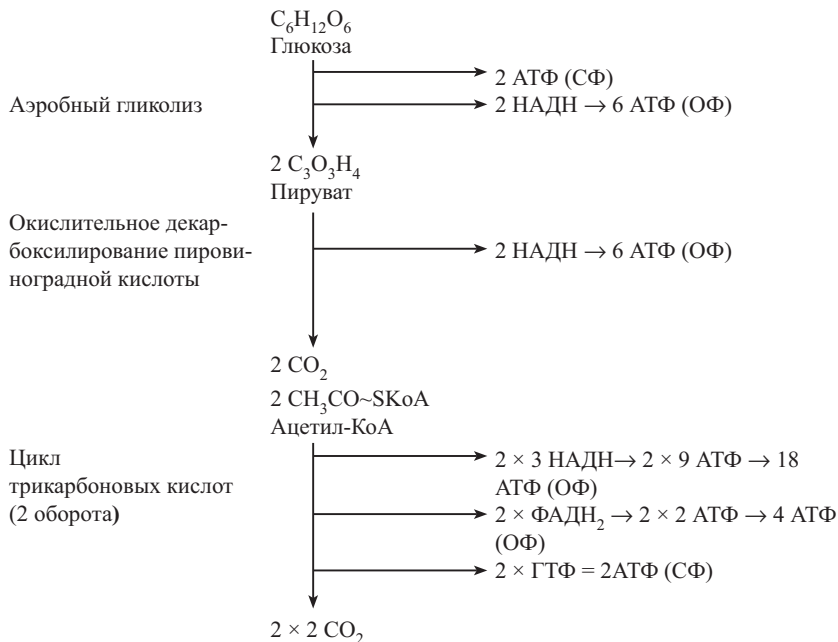


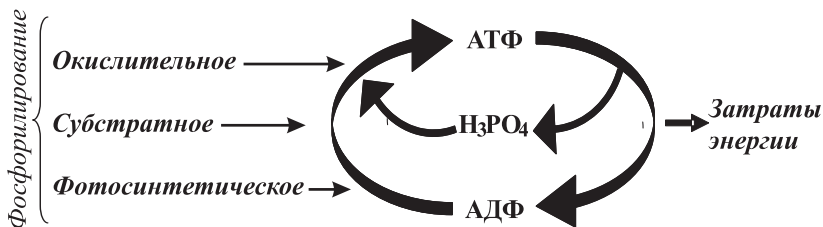
СХЕМА ПОЛНОГО АЭРОБНОГО ОКИСЛЕНИЯ ГЛЮКОЗЫ

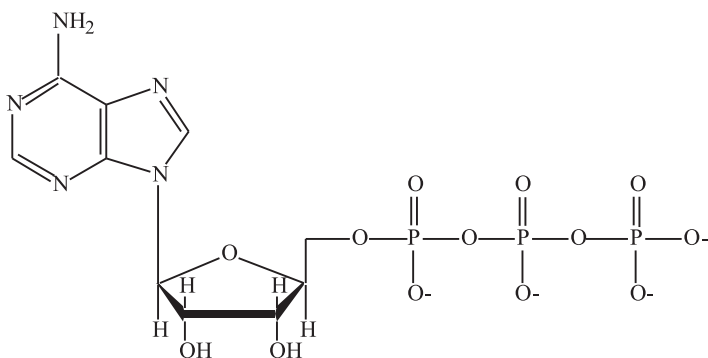


Всего 38 АТФ

СФ – субстратное фосфорилирование
ОФ – окислительное фосфорилирование

ЭНЕРГЕТИКА БИОХИМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ





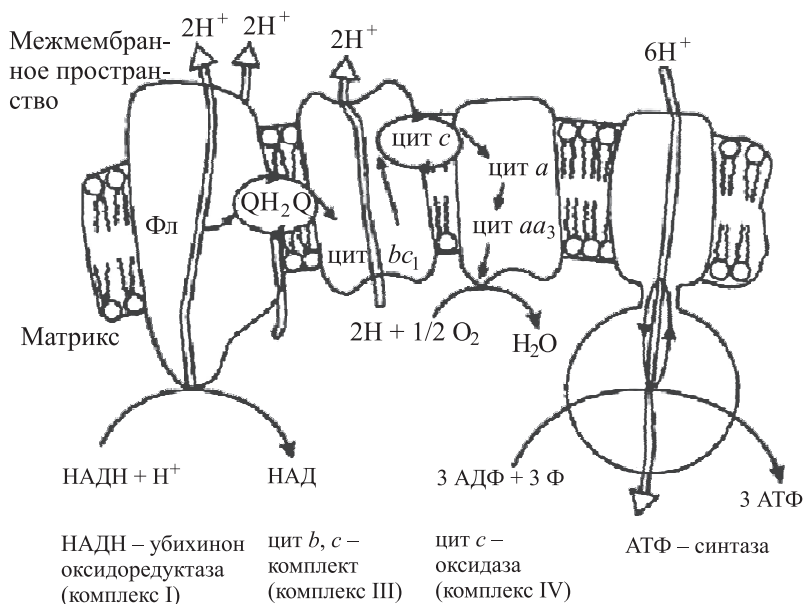
Структура АТФ

Таблица 9

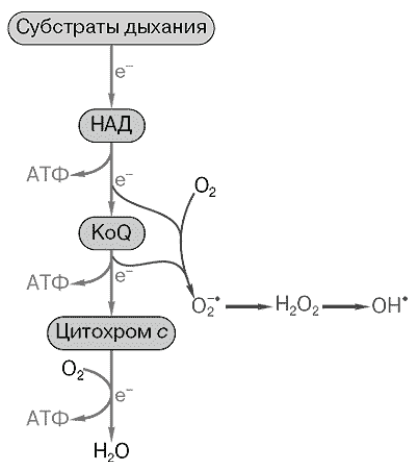
**Стандартная свободная энергия гидролиза
основных фосфорилированных
соединений**

| Соединение | ΔG° , ккал/моль |
|----------------------|------------------------------|
| Фосфоенолпируват | –14,8 |
| 1, 3-Дифосфоглицерат | –11,8 |
| Креатинфосфат | –10,3 |
| Ацетилфосфат | –10,1 |
| Аргенинфосфат | –7,7 |
| АТФ | –7,3 |
| АДФ | –7,3 |
| АМФ | –3,4 |
| Глюкозо-1-фосфат | –5,0 |
| Фруктозо-6-фосфат | –3,8 |
| Глюкозо-6-фосфат | –3,3 |
| Глицерол-1-фосфат | –2,2 |

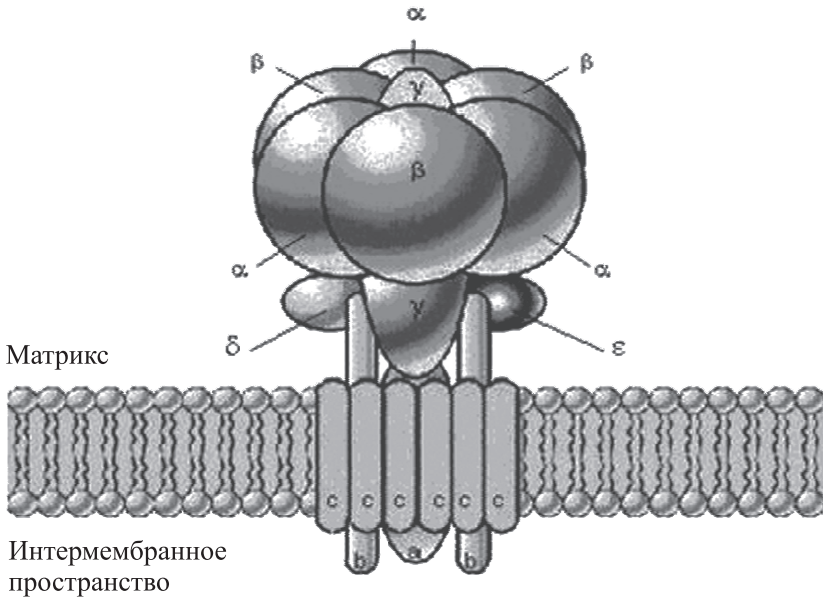
Строение дыхательной цепи митохондрий



Локализации пунктов сопряжения окисления и фосфорилирования в дыхательной цепи митохондрий



Строение протонной АТФазы митохондрий



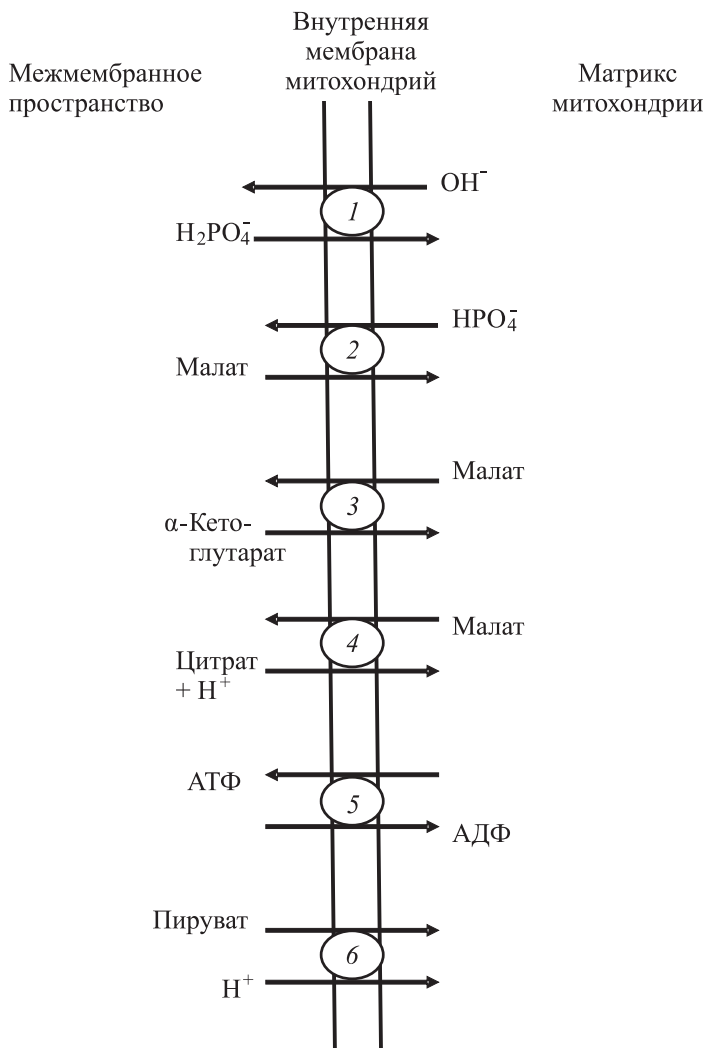
Протонная АТФаза состоит из двух отдельных частей:

F₀, гидрофобной части, связанной с мембраной, ответственной за транспорт протонов;

F₁, гидрофильной части, ответственной за синтез и гидролиз АТФ.

Общий план строения F₁-части АТФазы: $\alpha_3\beta_3\delta\epsilon$.

Каталитический центр образован β -субъединицами, ϵ -субъединица подавляет АТФазную активность фермента, α -субъединицы выполняют защитную функцию по отношению к активному центру.



Транспортные системы митохондрий:

- 1 – переносчик фосфата, 2 – переносчик дикарбоксилатов,
- 3 – переносчик α -кетоглутарата, 4 – переносчик трикарбоксилатов,
- 5 – переносчик адениновых нуклеотидов,
- 6 – переносчик пирувата

БИОЛОГИЧЕСКОЕ ОКИСЛЕНИЕ

Окисление, сопряженное с фосфорилированием АДФ:

- субстратное фосфорилирование
- окислительное фосфорилирование

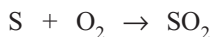
Свободное окисление

– окислительные реакции, энергия которых не трансформируется в энергию АТФ. Высвобождающаяся энергия переходит в тепловую и рассеивается.

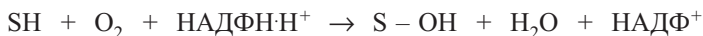
Ферменты, катализирующие реакции свободного окисления:

Оксигеназы – ферменты, катализирующие включение кислорода в молекулу субстрата (S).

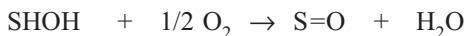
Диоксигеназы (истинные оксигеназы):



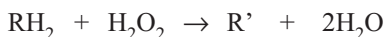
Монооксигеназы (гидроксилазы, система цитохрома P450):



Оксидазы – катализируют перенос атомы водорода или электроны непосредственно на кислород



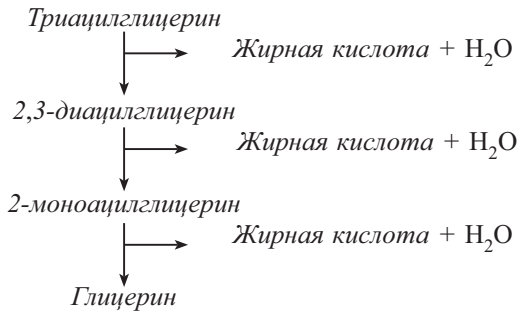
Пероксидазы – катализируют окисление субстратов за счет пероксидов



ОБМЕН ЛИПИДОВ

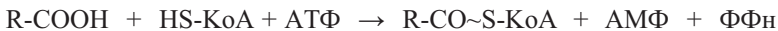
КАТАБОЛИЗМ АЦИЛГЛИЦЕРИНОВ

Ступенчатый ферментативный гидролиз ацилглицеринов:
ферменты: *панкреатические липазы*

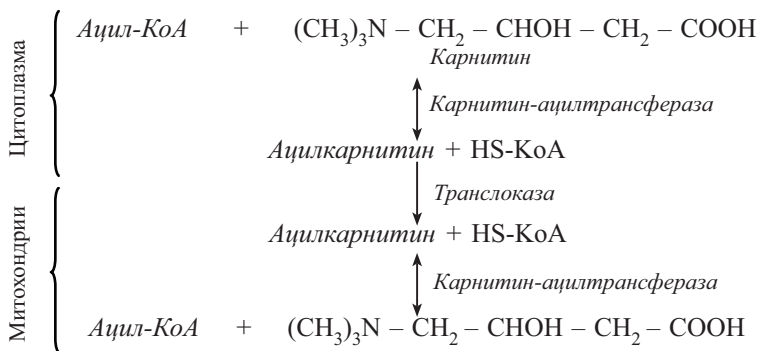


ЭТАПЫ β -ОКИСЛЕНИЯ ЖИРНЫХ КИСЛОТ

1. Активация жирных кислот в цитоплазме:
фермент: *ацил-КоА-синтетаза*

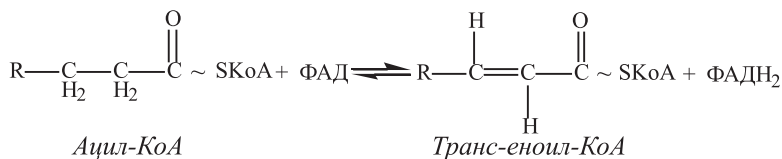


2. Транспорт ацильной группы в митохондри

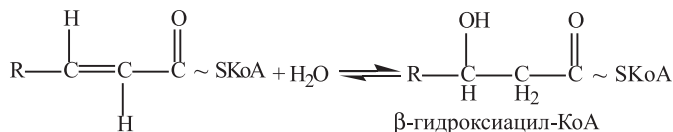


3. Собственно β -окисление:

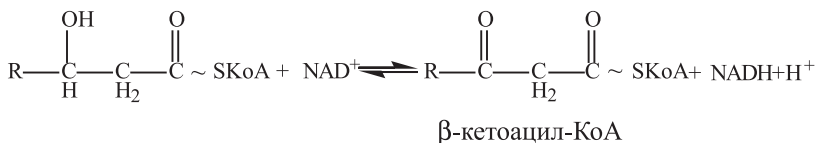
1) фермент: *ацил-КоА-дегидрогеназа*



2) фермент: *еноил-КоА-гидратаза*



3) фермент: β -гидроксиацил-КоА-дегидрогеназа



4) фермент: *ацетил-КоА-ацетилтрансфераза*

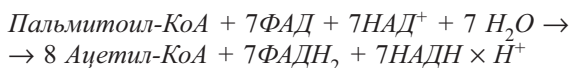


Энергетический баланс β -окисления

$$((n/2 - 1) \times 5 \text{ АТФ} + n/2 \times 12 \text{ АТФ}) - 1 \text{ АТФ},$$

где n – число углеродных атомов в жирной кислоте; $(n/2 - 1)$ – число циклов β -окисления; $n/2$ – число образующихся молекул ацетил-КоА.

β-окисление пальмитиновой кислоты (C₁₅H₃₁COOH)



Энергетический выход β-окисления пальмитиновой кислоты – 131 АТФ.

ОКИСЛЕНИЕ НЕНАСЫЩЕННЫХ ЖИРНЫХ КИСЛОТ

1. Активация жирных кислот в цитоплазме.
2. Транспорт ацильной группы в митохондрии.
3. Собственно окисление:
 - по пути β-окисления до образования **цис-еноил КоА**

фермент: Δ³, 4-цис-Δ², 3-транс-еноил-КоА-изомераза



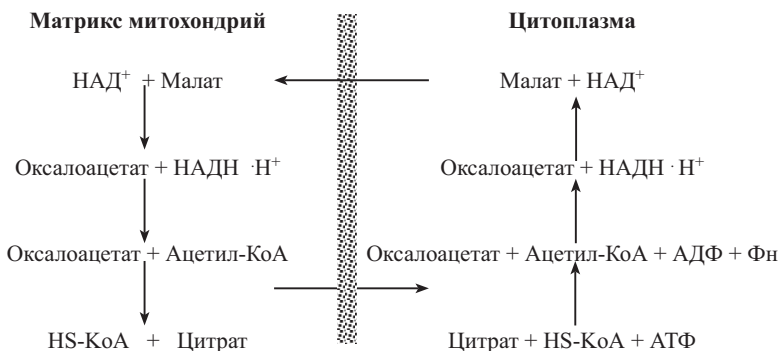
далее по пути β-окисления жирных кислот.

При окислении **полиненасыщенных жирных кислот** требуется дополнительная реакция эписмеризации (фермент: β-гидроксиацил-КоА-эписмераза) – переноса гидроксильной группы от α-углеродного атома к β-углеродному атому.

При окислении **жирных кислот с нечетным числом углеродных атомов** в результате последнего цикла β-окисления образуется пропионил-КоА, который превращается в сукцинил-КоА – промежуточный метаболит цикла трикарбоновых кислот.

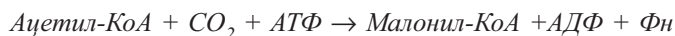
БИОСИНТЕЗ ЖИРНЫХ КИСЛОТ

1. Транспорт внутримитохондриального ацетил-КоА в цитоплазму:
 - ацилкарнитиновый механизм;
 - цитрат-транспортная система.



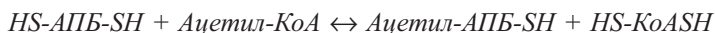
2. Образование малонил-КоА:

фермент: *ацетил-КоА-карбоксилаза*

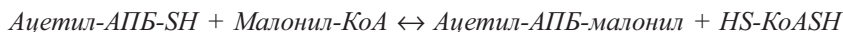


3. Собственно синтез жирных кислот:

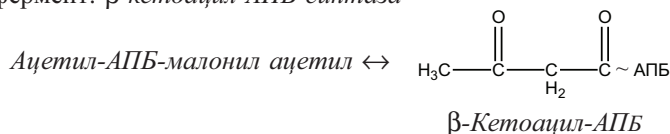
1) фермент: *ацетил-ацилпереносящий белок(АПБ)-трансфераза*



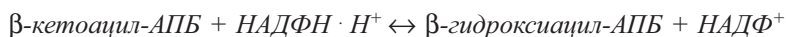
2) фермент: *малонил-АПБ-трансфераза*



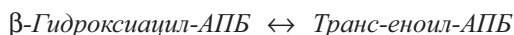
3) фермент: *β-кетоацил-АПБ-синтаза*



4) фермент: *β-кетоацил-АПБ – редуктаза*



5) фермент: *β-гидроксиацил-АПБ – дегидратаза*



6) фермент: *еноил-АПБ-редуктаза*



МЕТАБОЛИЗМ БЕЛКОВ, ПЕПТИДОВ, АМИНОКИСЛОТ

КАТАБОЛИЗМ АМИНОКИСЛОТ

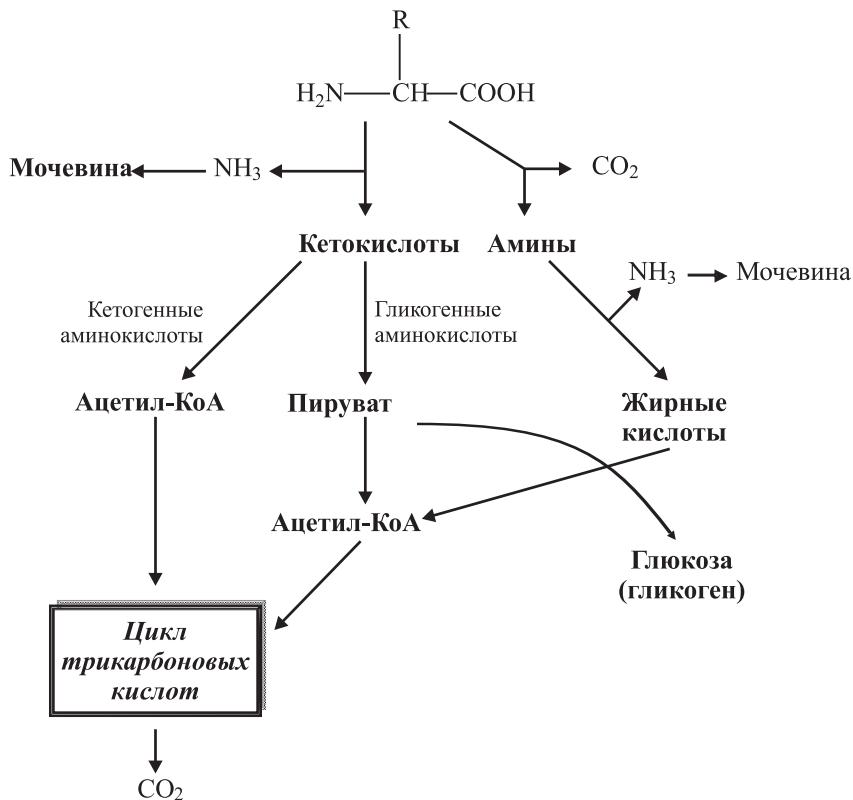


Таблица 10

Заменимые и незаменимые аминокислоты

| Заменимые | Незаменимые |
|-----------------------|-------------|
| Аланин | Валин |
| Аспарагин | Изолейцин |
| Аспарагиновая кислота | Лейцин |
| Глицин | Лизин |
| Глутамин | Метионин |

| Заменяемые | Незаменяемые |
|----------------------|--------------|
| Глутаминовая кислота | Треонин |
| Пролин | Триптофан |
| Серин | Фенилаланин |
| Тирозин | Аргинин* |
| Цистеин | Гистидин* |

* Условно заменяемые аминокислоты.

Заменяемые аминокислоты – аминокислота, которые синтезируются в организме из продуктов метаболизма углеводов и липидов.

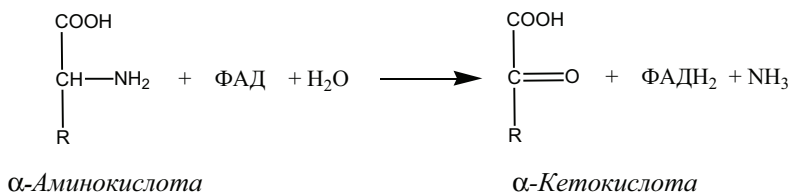
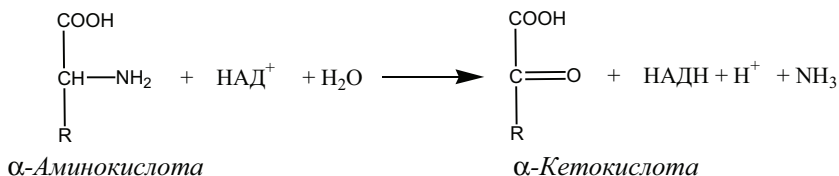
Незаменяемые аминокислоты – не синтезируются в организме.

ОКИСЛИТЕЛЬНОЕ ДЕЗАМИНИРОВАНИЕ

Окислительное дезаминирование – основной тип дезаминирования (отщепления аминогруппы) аминокислот.

Ферменты: *НАД (НАДФ) – зависимые дегидрогеназы аминокислот*

ФАД (ФМН) – зависимые оксидазы аминокислот

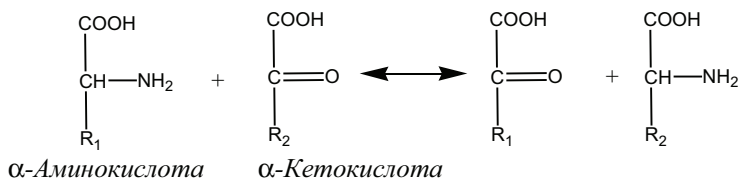


ТРАНСАМИНИРОВАНИЕ АМИНОКИСЛОТ

Трансаминирование (переаминирование) аминокислот – реакция меж-молекулярного переноса аминогруппы от α-аминокислоты на α-кетокислоту без промежуточного образования аммиака.

Ферменты: *аминотрансферазы*

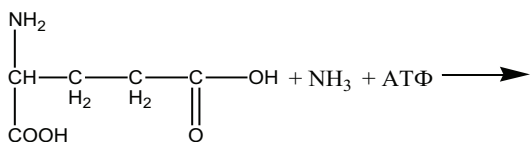
Кофермент: *пиридоксальфосфат*



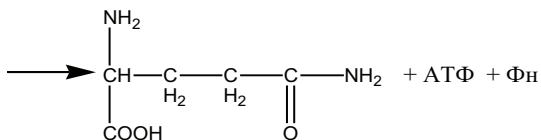
БИОСИНТЕЗ ГЛУТАМИНА

Биосинтез глутамина – наиболее распространенный путь связывания и обезвреживания аммиака в организме.

Фермент: *глутаминсинтетаза*



Глутаминовая кислота

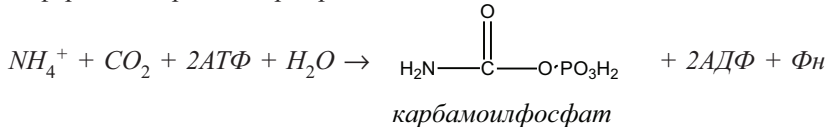


Глутамин

ОРНИТИНОВЫЙ ЦИКЛ МОЧЕВИНООБРАЗОВАНИЯ

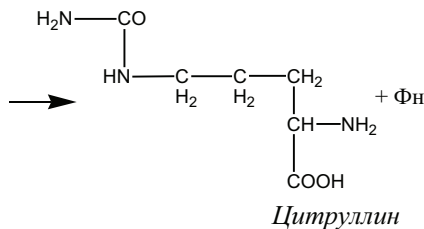
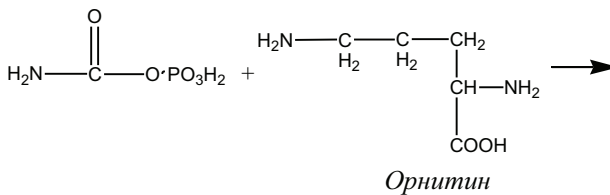
1. Синтез карбамоил фосфата:

фермент: *карбамоилфосфат-синтетаза*



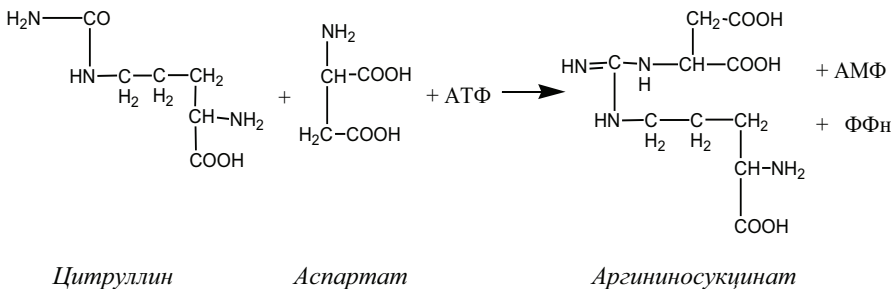
2. Образование цитруллина:

фермент: *орнитинкарбамоилтрансфераза*

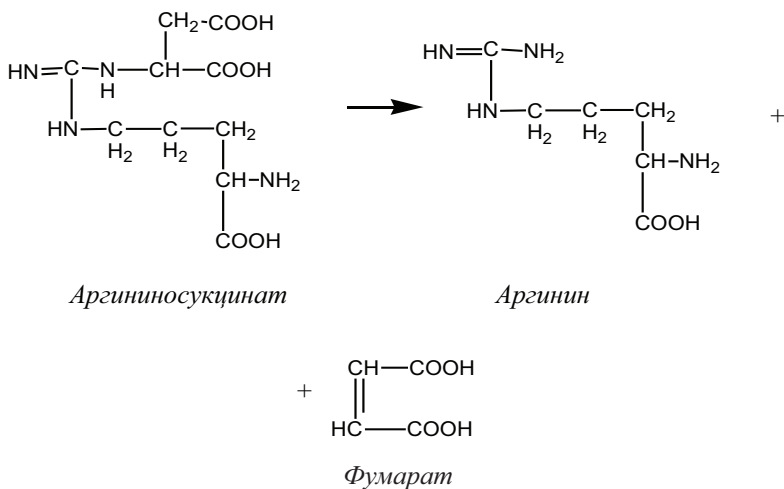


3. Взаимодействие цитруллина с аспарагиновой кислотой:

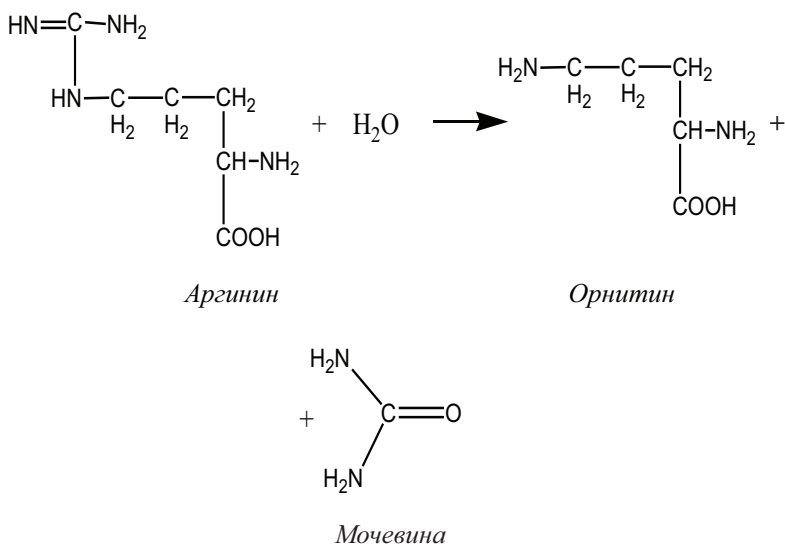
фермент: *аргининосукцинатсинтетаза*



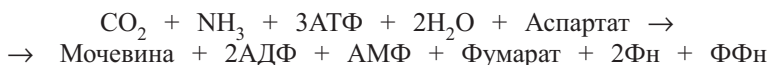
4. Образование аргинина:
 фермент: *аргининосукцинатлиаза*



5. Гидролиз аргинина с образованием мочевины:
 фермент: *аргиназа*



Суммарное уравнение мочевинообразования



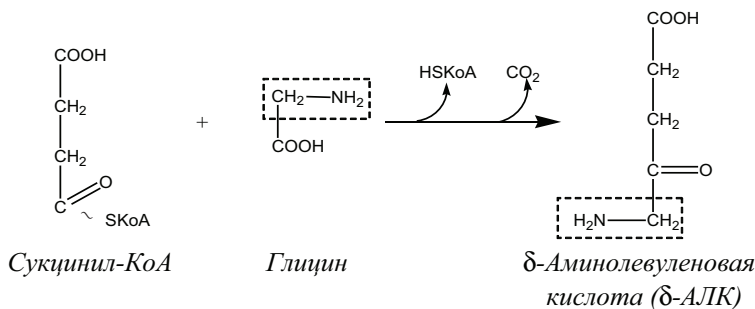
МЕТАБОЛИЗМ ГЕМОПРОТЕИНОВ

СИНТЕЗ ГЕМА

Синтез порфобилиногена из сукцинил-КоА и глицина

1. Образование δ -аминолевуленовой кислоты:

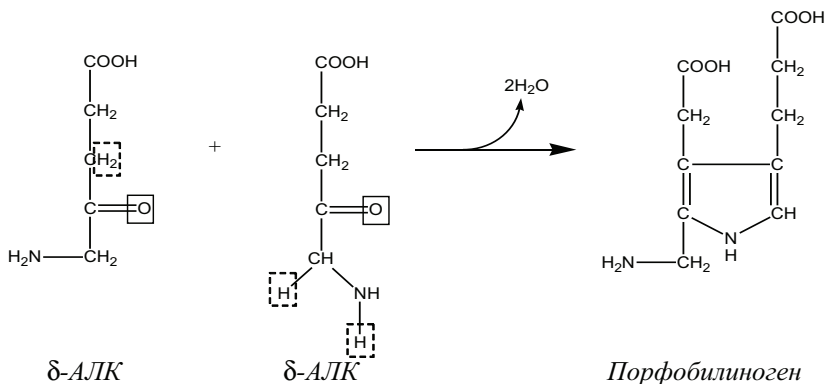
фермент: *пиридоксальзависимая δ -аминолевулатсинтаза*



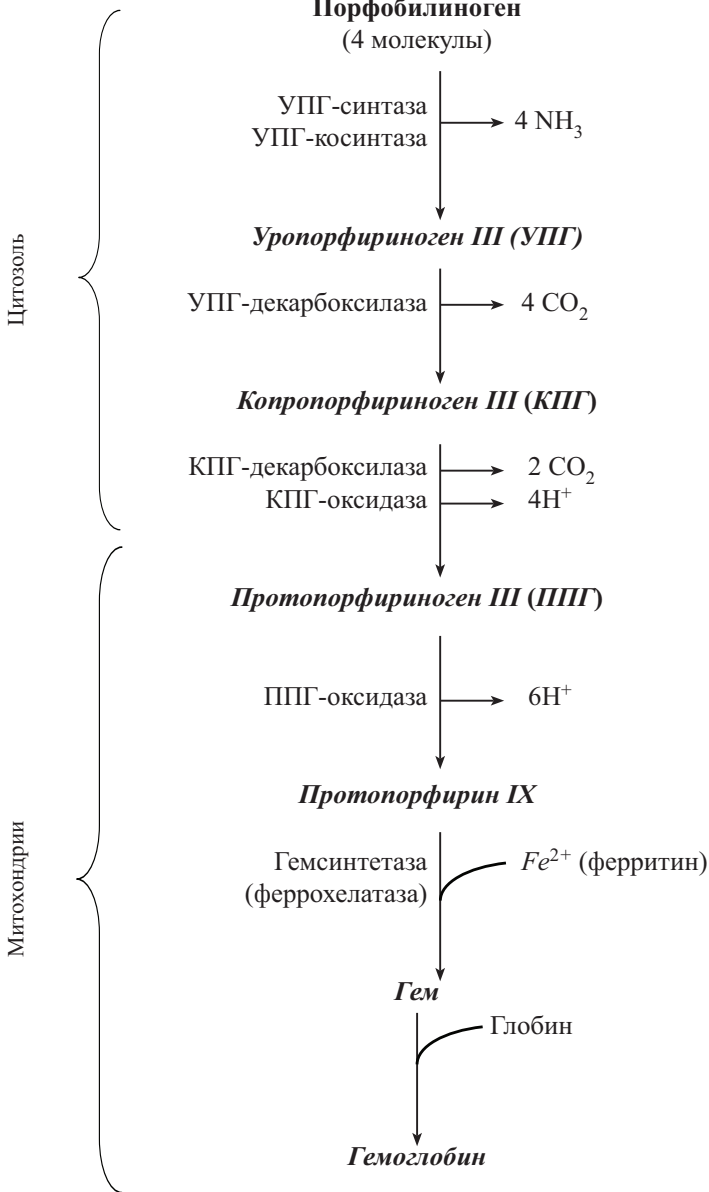
Ингибитор: *гем*.

2. Образование порфобилиногена:

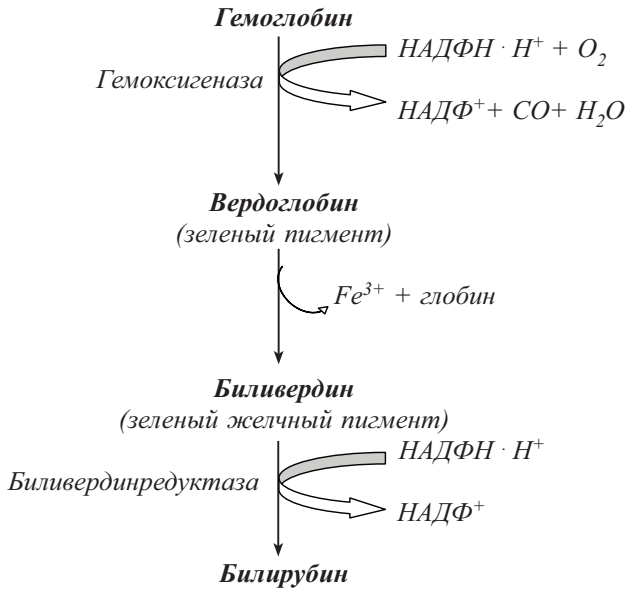
фермент: *порфобилиногенсинтаза*



Синтез гемоглобина



Распад гемоглобина



Метаболизм билирубина

1. Транспорт билирубина кровью и поступление в паренхимальные клетки печени:

- специфически связывается с альбуминами плазмы крови;
- на поверхности клеток отделяется от альбумина;
- поглощается клетками печени путем облегченной диффузии.

2. Детоксикация билирубина в эндоплазматическом ретикулуле клеток печени:

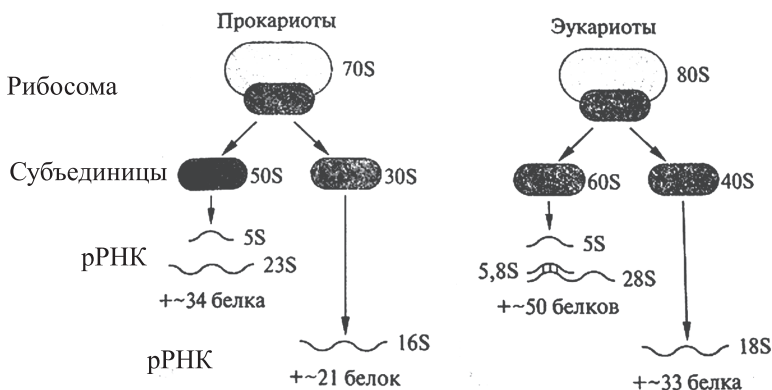
- конъюгирует с глюкуроновой кислотой (с участием УДФ-глюкуроновой кислоты и УДФ-глюкуронилтрансферазы).

3. Секреция билирубина и выведение из организма:

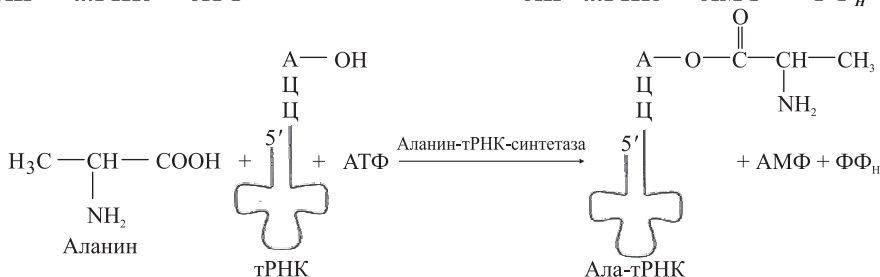
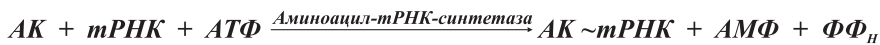
- секретируется в желчь в форме билирубинглюкуронида;
- экскретируется в кишечник и модифицируется под действием ферментных систем микрофлоры кишечника.

БИОСИНТЕЗ БЕЛКА

Строение рибосом



Инициация аминокислот



Этапы трансляции (синтеза белка) на рибосомах

1-й этап – инициация трансляции: принимают участие белковые факторы инициации, мРНК, большая и малая субъединицы рибосом, тРНК^{Мет} (у прокариот – формил-Мет), Мет, ГТФ. Иницирующий кодон – АУГ.

2-й этап – элонгация синтеза: принимают участие белковые факторы элонгации, тРНК, аминокислоты, мРНК, рибосомы, ГТФ.

3-й этап – терминация синтеза: принимают участие белковые факторы терминации. Терминирующие кодоны: УАГ, УАА, УГА.

Таблица 11

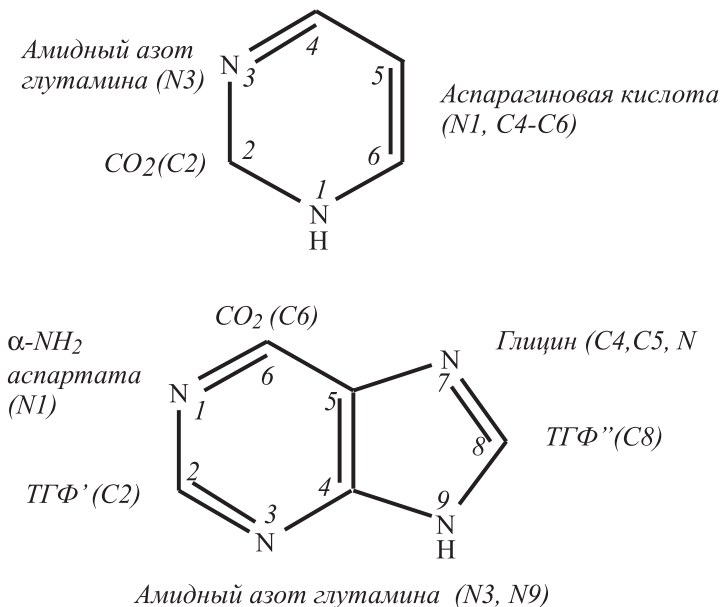
Генетический код

| Положение азотистого основания в кодоне | | | | | | | | | | |
|---|---------------|-----|-----------------|-----|-----|-----|------|-----|------|---|
| 1-е положение | 2-е положение | | | | | | | | | |
| | | У | | Ц | | А | | Г | | |
| | У | УУУ | Фен | УЦУ | Сер | УАУ | Тир | УГУ | Цис | У |
| | | УУЦ | | УЦЦ | | УАЦ | | УГЦ | | Ц |
| | | УУА | Лей | УЦА | | УАА | Стоп | УГА | Стоп | А |
| | | УУГ | | УЦГ | | УАГ | | УГГ | Трп | Г |
| | Ц | ЦУУ | | ЦЦУ | Про | ЦАУ | Гис | ЦГУ | Арг | У |
| | | ЦУЦ | Лей | ЦЦЦ | | ЦАЦ | | ЦГЦ | | Ц |
| | | АУА | | ЦУА | | ЦАА | Глн | ЦГА | | А |
| | | ЦУГ | | ЦЦГ | | | | ЦГГ | | Г |
| | А | АУУ | | АЦУ | Тре | ААУ | Асн | АГУ | Сер | У |
| | | АУЦ | Иле | АЦЦ | | ААЦ | | АГЦ | | Ц |
| | | АУА | | АЦА | | ААА | Лиз | АГА | Арг | А |
| | | АУГ | Мет “начало” | АЦГ | | | | АГГ | | Г |
| | Г | ГУУ | Вал | ГЦУ | Ала | ГАУ | Асп | ГГУ | Гли | У |
| | | ГУЦ | | ГЦЦ | | ГАЦ | | ГГЦ | | Ц |
| | | ГУА | | ГЦА | | ГАА | Глу | ГГА | | А |
| | | ГУГ | Вал “начало” | ГЦГ | | | | ГГГ | | Г |

| | | | | | | | | | | |
|---------------|---------------|-----|-----------------|-----|-----|-----|------|-----|------|---|
| 3-е положение | 2-е положение | | | | | | | | | |
| | | У | | Ц | | А | | Г | | |
| | У | УУУ | Фен | УЦУ | Сер | УАУ | Тир | УГУ | Цис | У |
| | | УУЦ | | УЦЦ | | УАЦ | | УГЦ | | Ц |
| | | УУА | Лей | УЦА | | УАА | Стоп | УГА | Стоп | А |
| | | УУГ | | УЦГ | | УАГ | | УГГ | Трп | Г |
| | Ц | ЦУУ | | ЦЦУ | Про | ЦАУ | Гис | ЦГУ | Арг | У |
| | | ЦУЦ | Лей | ЦЦЦ | | ЦАЦ | | ЦГЦ | | Ц |
| | | АУА | | ЦУА | | ЦАА | Глн | ЦГА | | А |
| | | ЦУГ | | ЦЦГ | | | | ЦГГ | | Г |
| | А | АУУ | | АЦУ | Тре | ААУ | Асн | АГУ | Сер | У |
| | | АУЦ | Иле | АЦЦ | | ААЦ | | АГЦ | | Ц |
| | | АУА | | АЦА | | ААА | Лиз | АГА | Арг | А |
| | | АУГ | Мет “начало” | АЦГ | | | | АГГ | | Г |
| | Г | ГУУ | Вал | ГЦУ | Ала | ГАУ | Асп | ГГУ | Гли | У |
| | | ГУЦ | | ГЦЦ | | ГАЦ | | ГГЦ | | Ц |
| | | ГУА | | ГЦА | | ГАА | Глу | ГГА | | А |
| | | ГУГ | Вал “начало” | ГЦГ | | | | ГГГ | | Г |

МЕТАБОЛИЗМ ДНК И РНК

СИНТЕЗ ПУРИНОВЫХ И ПИРИМИДИНОВЫХ ОСНОВАНИЙ



БИОСИНТЕЗ НУКЛЕОТИДОВ

Фосфорибозильный компонент: 5'-фосфорибозил -1'-пирофосфат.

Пиримидиновые основания:

- аминокислоты (аспарагиновая кислота, глутамин);
- CO₂.

Пуриновые основания:

- аминокислоты (глицин, глутамин, аспарагиновая кислота);
- CO₂;
- TГФ.

Последовательность стадий биосинтеза

1. Построение пиримидинового кольца.
2. Образование N-гликозидной связи.

1. Образование N-гликозидной связи.
2. Построение циклической системы (пуринового основания).

Предшественник пиримидиновых нуклеотидов:

- уридин-5'-монофосфат.

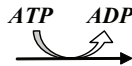
Нуклеозид-
монофосфат



Нуклеозид-
дифосфат

Предшественник пуриновых нуклеотидов:

- инозин-5'-монофосфат.

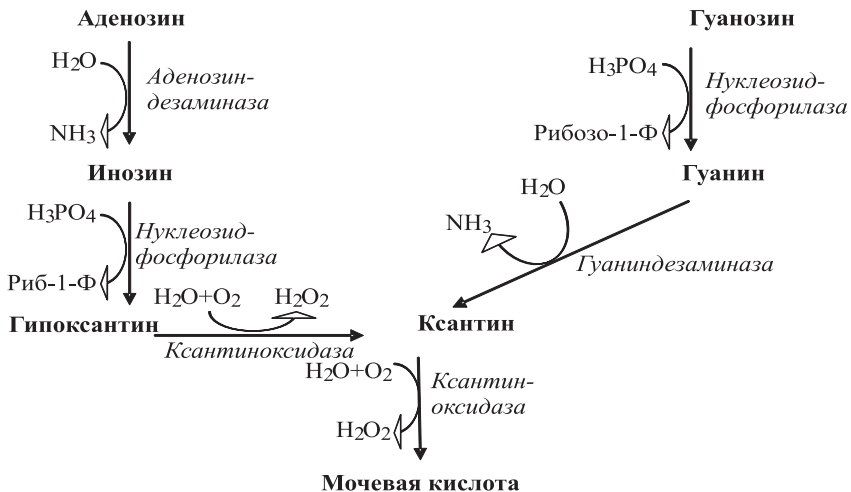


Нуклеозид-
трифосфат

КАТАБОЛИЗМ ПУРИНОВЫХ НУКЛЕОЗИДОВ

Пуриновые основания окисляются:

- у человека, большинства млекопитающих, птиц, некоторых рептилий – до мочевой кислоты;
- рептилий, некоторых млекопитающих – до аллantoина;
- рыб – до аллantoиновой кислоты и мочевины.



КАТАБОЛИЗМ ПИРИМИДИНОВЫХ НУКЛЕОЗИДОВ

Пиримидиновые нуклеозиды гидролизуются до азотистых оснований и рибозо-1-фосфата и пиримидиновых оснований, которые далее подвергаются НАДФН-зависимому восстановлению до аммиака и β -аминокислот:

Цитидин \rightarrow Уридин \rightarrow Урацил \rightarrow Дигидроурацил $\rightarrow \beta$ -Аланин + NH_3

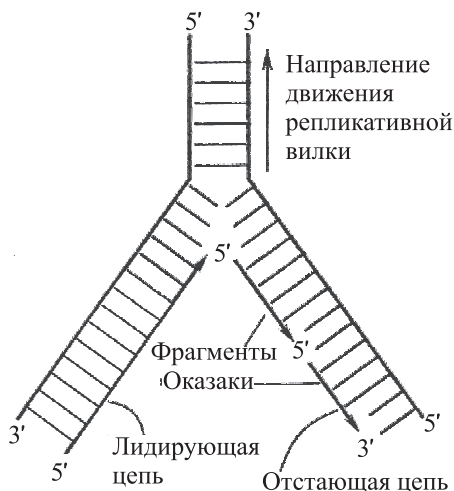
Тимидин \rightarrow Тимин \rightarrow Дигидротимин \rightarrow
 $\rightarrow \beta$ -Аминоизомасляная кислота + NH_3

РЕПЛИКАЦИЯ ДНК

Таблица 12

Ферменты репликации ДНК

| Фермент | Функция |
|----------------|---|
| ДНК-полимеразы | Полимеризация дезоксирибонуклеотидов |
| Хеликазы | Раскручивание цепей ДНК |
| Топоизомеразы | Релаксация суперспирализации |
| Праймаза | Синтез РНК-праймеров |
| Белок SSB | Препятствует обратной рекомбинации расплетенных цепей в двойную спираль |
| ДНК-лигазы | Соединяют фрагменты Оказаки на отстающей цепи |



СИНТЕЗ РНК

Синтез РНК – транскрипция осуществляется на матрице ДНК в направлении $5' \rightarrow 3'$ (цепь РНК имеет противоположную направленность).

Ферменты:

ДНК-зависимая РНК-полимераза.

Этапы синтеза:

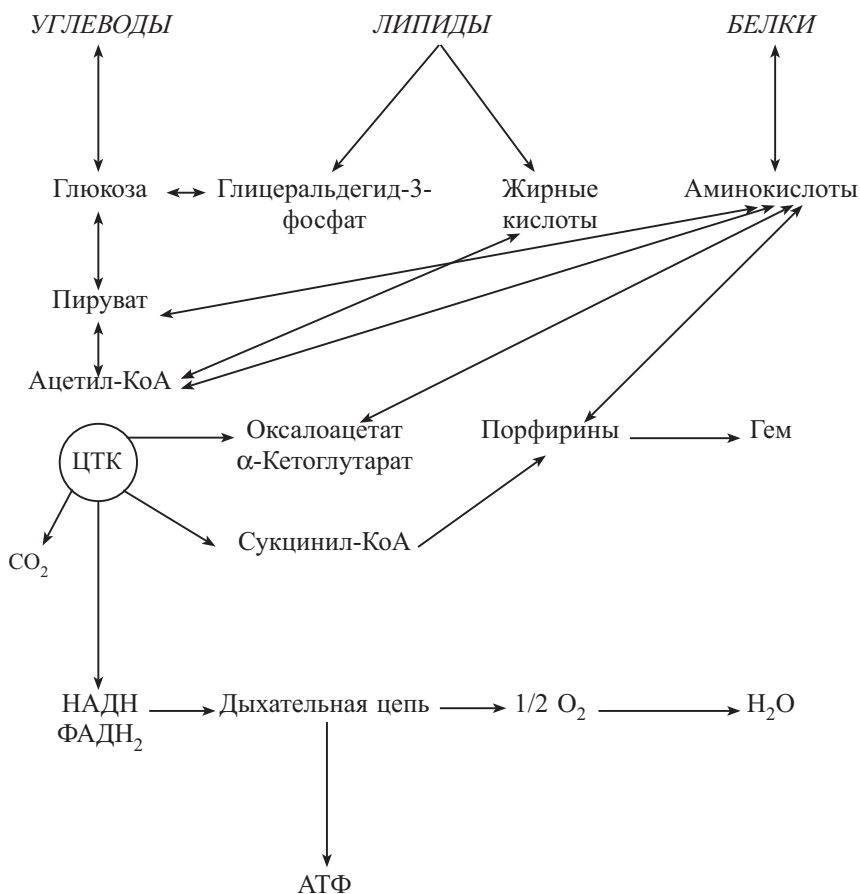
- инициация транскрипции;
- элонгация транскрипции;
- терминация транскрипции.



Схема транскрипции РНК

ИНТЕГРАЦИЯ И РЕГУЛЯЦИЯ МЕТАБОЛИЗМА

ВЗАИМОСВЯЗЬ МЕТАБОЛИЗМА УГЛЕВОДОВ, ЛИПИДОВ И БЕЛКОВ



ВЗАИМОСВЯЗЬ КЛЮЧЕВЫХ МЕТАБОЛИТОВ

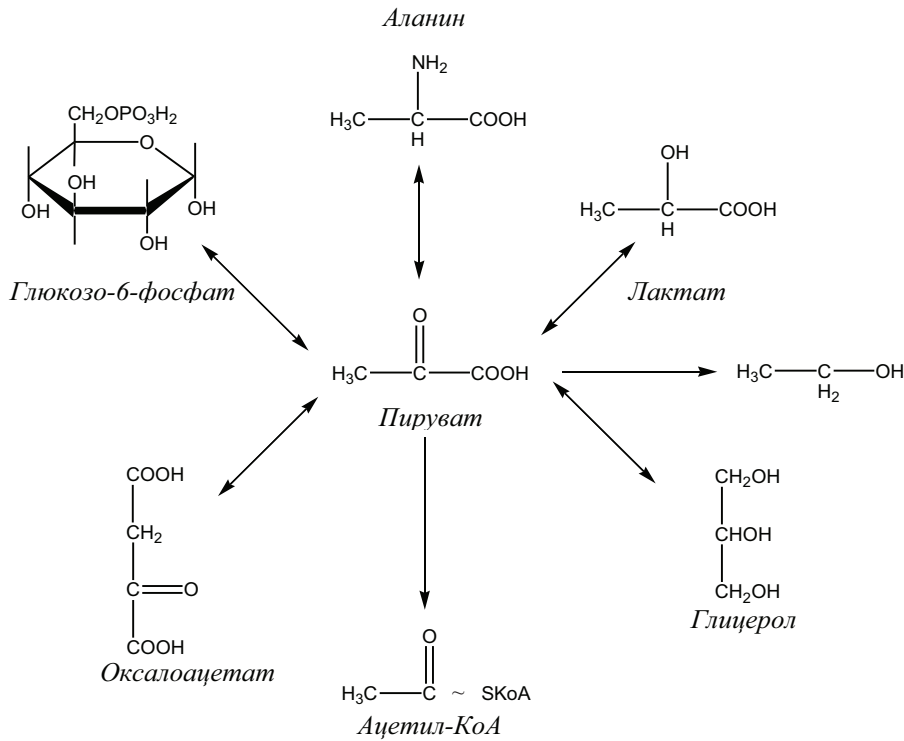


Таблица 13

Классификация гормонов

| Место синтеза гормона | Название | Химическая природа | Функция |
|-----------------------|---|--------------------|---|
| Гипоталамус | Либерины: <ul style="list-style-type: none">• кортиколиберин• тиреолиберин• люлиберин• фоллиберин• соматолиберин• пролактолиберин• меланолиберин | Пептиды | Рилизинг-факторы гипоталамуса – регулируют секрецию гипофизарных гормонов |

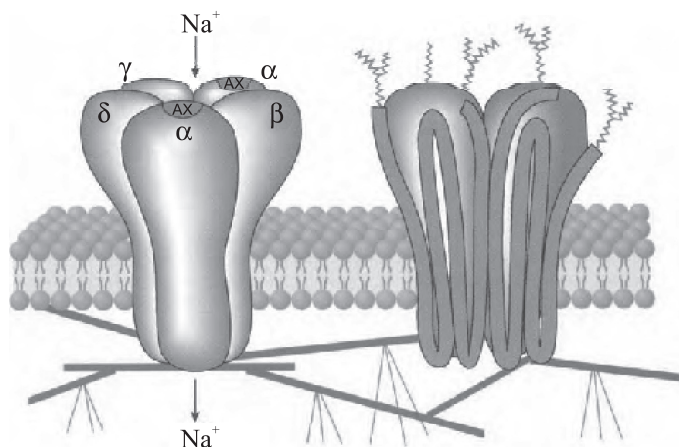
| Место синтеза гормона | Название | Химическая природа | Функция |
|---|---|----------------------|---|
| | Статины: <ul style="list-style-type: none"> • соматостатин • пролактостатин • меланостатин | | Ингибиторы секреции и синтеза гипofизарных гормонов |
| Гипофиз: <ul style="list-style-type: none"> • передняя доля | Тропные гормоны: <ul style="list-style-type: none"> • соматотропин • адренокортикотропный (АКТГ) • тиреотропный гормон • пролактин • фолликулостимулирующий гормон • лютеинизирующий гормон • гормон липотропин | Белки | Активируют синтетические процессы (синтез белка, репликацию, транскрипцию) |
| <ul style="list-style-type: none"> • промежуточная доля | Меланоцитстимулирующие гормоны (МСГ): <ul style="list-style-type: none"> • α-МСГ • β-МСГ | Пептиды | Стимулируют меланогенез |
| <ul style="list-style-type: none"> • задняя доля | Вазопрессин Окситоцин | Пептиды | Стимулируют сокращение гладкой мускулатуры |
| Паращитовидная железа | Паратиреоидный гормон (паратгормон) | Белок | Регулирует содержание Ca^{2+} в крови |
| Щитовидная железа | Тиронин Трииодтиронин (Т3) Тироксин (тетраиодтиронин, или Т4) | Производные тирозина | Регулируют рост и дифференциацию тканей, метаболизм белков, углеводов и липидов, водно-электролитный баланс, гемопоэз и др. |
| | Кальцитонин | Пептид | Регулирует постоянную концентрацию кальция в крови |
| Поджелудочная железа | Инсулин Глюкагон | Белок Пептид | Регулируют содержание глюкозы в крови |

| Место синтеза гормона | Название | Химическая природа | Функция |
|---|--|---------------------------------------|--|
| Надпочечники: <ul style="list-style-type: none"> • кора надпочечников | Глюкокортикоиды: <ul style="list-style-type: none"> • кортикостерон • кортизон • кортизол (гидрокси-кортизон) • 11-дезоксикортизон • 11-дегидрокорти-костерон Минерало-кортикоиды: <ul style="list-style-type: none"> • дезоксикортикостерон • альдостерон | Стероиды (кортикосте-роиды) | Регулируют обмен углеводов, белков, жиров и нуклеино-вых кислот Регулируют мине-ральный обмен |
| <ul style="list-style-type: none"> • мозговое вещество надпочечников | Адреналин Норадреналин Изопропиладреналин | Катехолами-ны (произ-водные тирозина) | Оказывают гипергли-кемический эффект |
| Половые железы: <ul style="list-style-type: none"> • яичники (♀) • семенники (♂) | Половые гормоны Эстрогены (эстрадиол) Прогестины (прогесте-рон) Андрогены: <ul style="list-style-type: none"> • андростерон • тестостерон • дегидроэпиандросте-рон | Стероиды | Регулируют половое созревание |

Схема регуляции гипоталамо- гипофизарно-тиреоидной системы

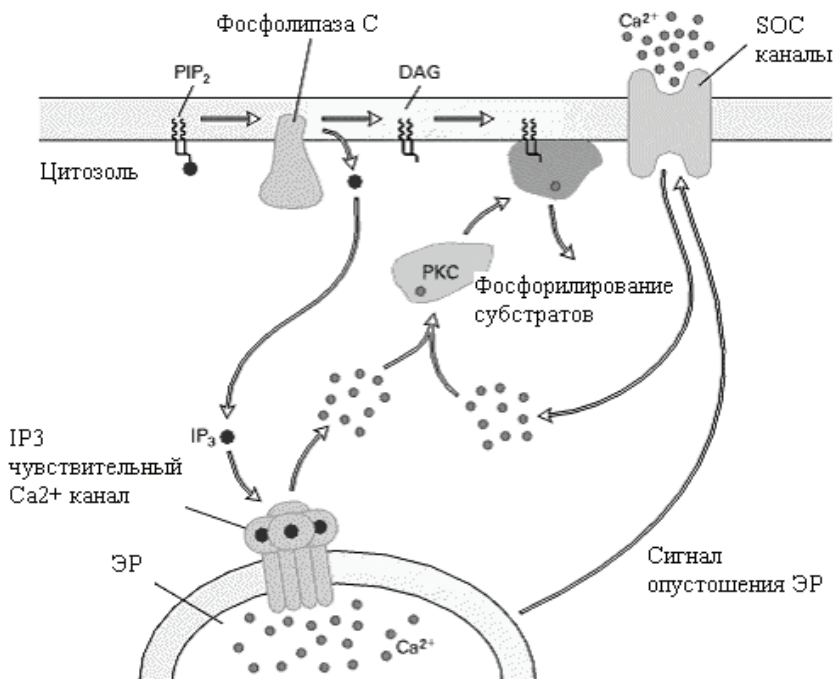


Структура холинергического рецептора никотинового типа, формирующего ионный канал



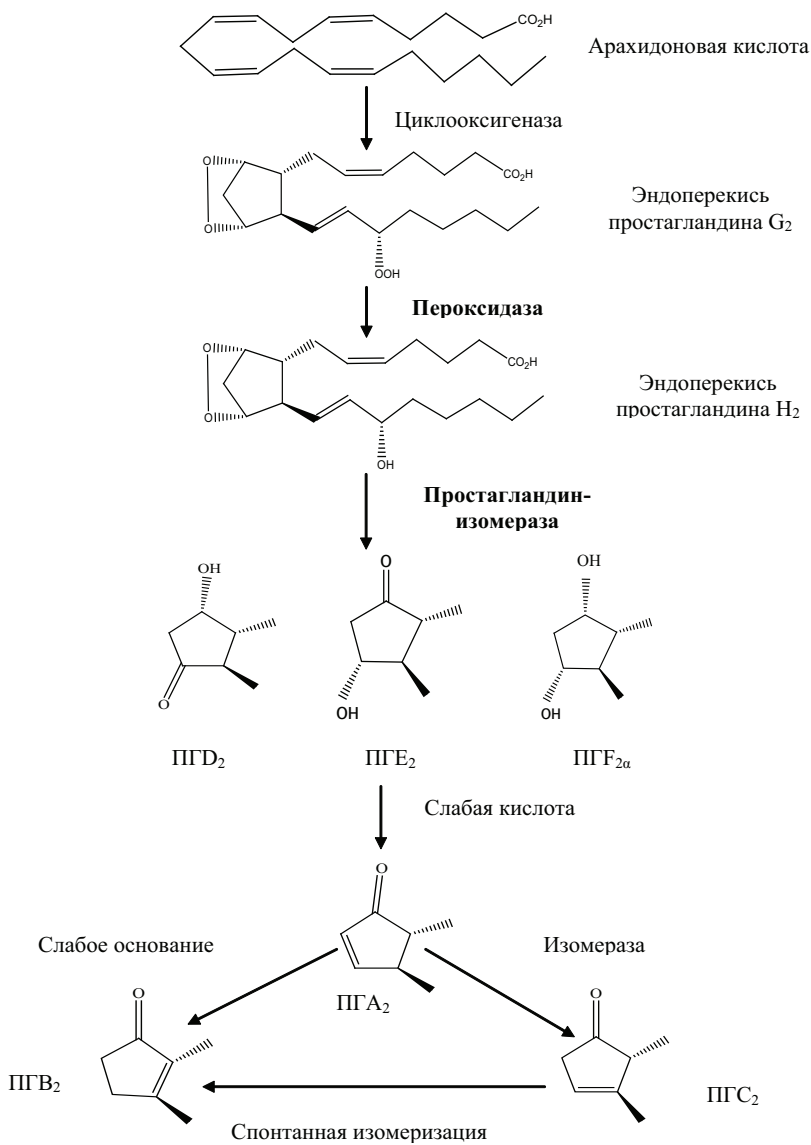
Субъединицы, полипептидные цепи которых четыре раза пронизывают липидный бислой, с внешней стороны гликозилированы, а внутри взаимодействуют с белками тубулинового и актинового цитоскелета. Связывание АХ с двумя α -субъединицами холинергического рецептора вызывает конформационные изменения в олигомерном комплексе, в результате чего Na^+ входит внутрь клетки.

Увеличение содержания цитозольного Ca^{2+} через фосфатидилинозитольный сигнальный путь

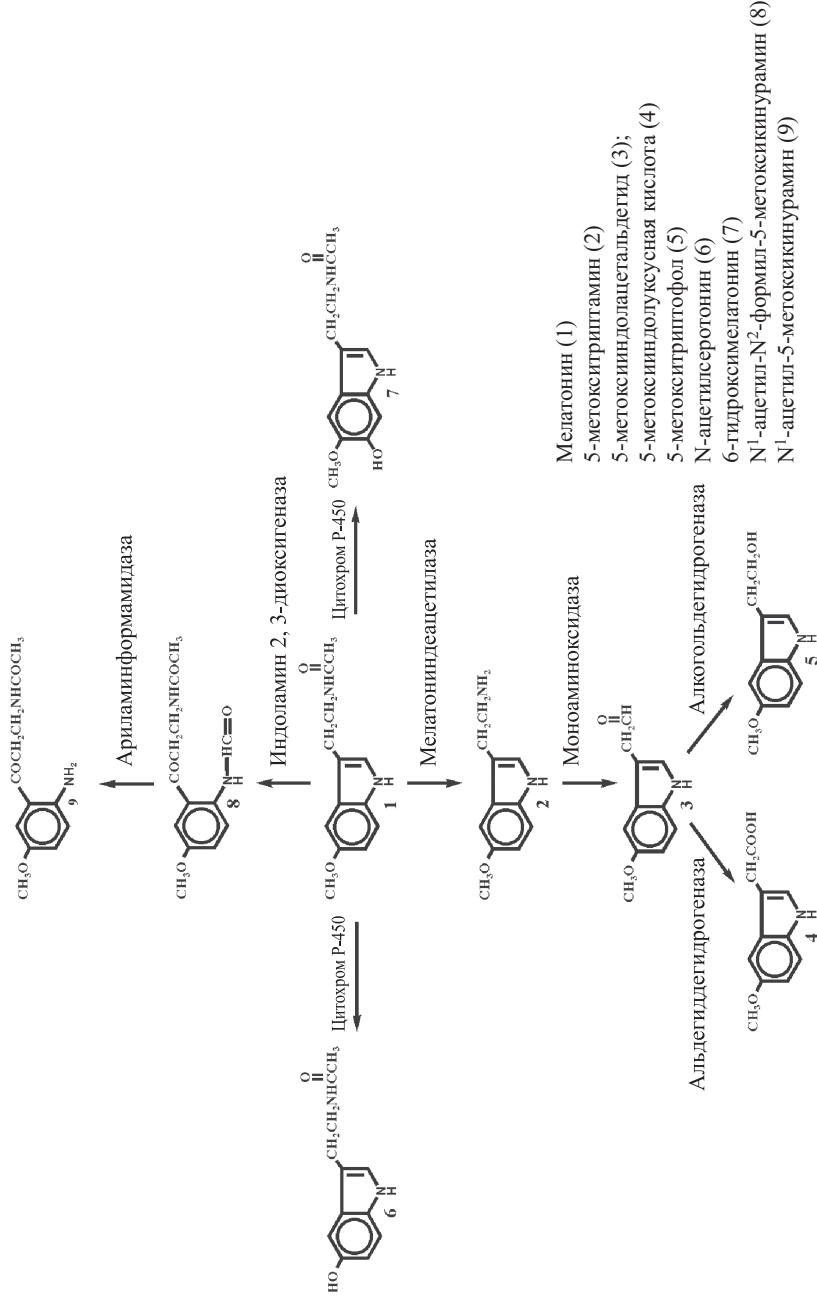


Связывание гормона с рецептором приводит к активации G-белка (Gq), который активирует фосфолипазу C (PLC). PLC гидролизует фосфатидил-инозитол-4,5-бисфосфат (PIP_2) до инозитол-1,4,5-трифосфата (IP_3) и 1,2-диацилглицерола (DAG). IP_3 диффундирует через цитозоль и взаимодействует с IP_3 рецепторным каналом эндоплазматического ретикула (ЭР), вызывая выброс ионов Ca^{2+} в цитозоль. Это активирует вход Ca^{2+} в клетки через специальные кальциевые каналы (SOC). Повышение цитозольного Ca^{2+} вызывает переход протеинкиназы C (PKC) из цитозоля в мембрану, где она активируется DAG. Активированная PKC фосфорилирует ряд ферментов и рецепторов, изменяя их активность.

Схема циклооксигеназного пути синтеза простагландинов

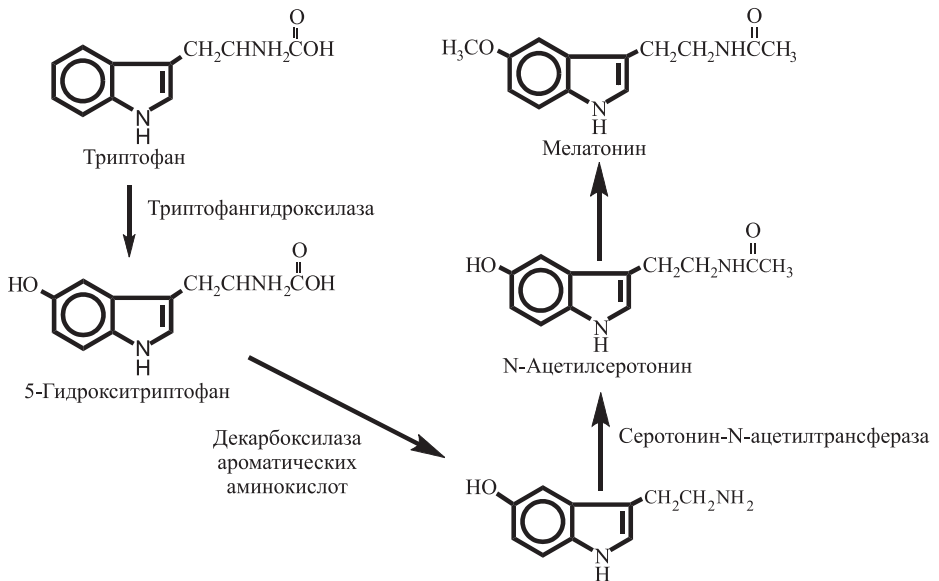


ОСНОВНЫЕ ПУТИ МЕТАБОЛИЗМА МЕЛАТОНИНА



- Мелатонин (1)
- 5-метокситриптамин (2)
- 5-метоксиндолацетальдегид (3);
- 5-метоксиндолацетовая кислота (4)
- 5-метокситриптофол (5)
- N-ацетилсеротонин (6)
- 6-гидроксимелатонин (7)
- N¹-ацетил-N²-формил-5-метокситинурамин (8)
- N¹-ацетил-5-метокситинурамин (9)

Биосинтез мелатонина



ЛИТЕРАТУРА

- Анисимов, А. А.* Основы биохимии / А. А. Анисимов. М. : Высш. шк., 1987.
- Березов, Т. Т.* Биологическая химия / Т. Т. Березов, Б. Ф. Коровкин. М. : Медицина, 1990.
- Биохимия : учебник для вузов / под ред. Е. С. Северина. М. : ГЭОТАР-Медиа, 2006.
- Горбачев, В. В.* Витамины, микро- и макроэлементы. Справочник / В. В. Горбачев, В. Н. Горбачева. Минск : Книжный дом ; Интерпрессервис, 2002.
- Досон, Р.* Справочник биохимика / Р. Досон [и др.]. М. : Мир, 1991.
- Комов, В. П.* Биохимия / В. П. Комов, В. Н. Шведова. М. : Дрофа, 2004.
- Коницев, А. С.* Биохимия и молекулярная биология. Словарь терминов / А. С. Коницев, Г. А. Севастьянова. М. : Дрофа, 2008.
- Кнорре, Д. Г.* Биологическая химия / Д. Г. Кнорре, С. Д. Мызина. М. : Высш.шк., 2000.
- Кольман, Я.* Наглядная биохимия / Я. Кольман, К.-Г. Рем. М. : Мир, 2000.
- Коницев, А. С.* Биохимия и молекулярная биология. Словарь терминов / А. С. Коницев, Г. А. Севастьянова. М. : Дрофа, 2008.
- Ленинджер, А.* Основы биохимии / А. Ленинджер. М.: Мир, 1985. Т. 1–3.
- Мари, Р.* Биохимия человека / Р. Мари [и др.]. М. : Мир, 1993. Т. 1–2.
- Уайт, А.* Основы биохимии / А. Уайт [и др.]. М.: Мир, 1981. Т. 1–3.
- Филиппович, Ю. Б.* Основы биохимии / Ю. Б. Филиппович. М. : Высш. шк., 1999.
- Цыганов, А. Р.* Биохимия / А. Р. Цыганов, И. В. Сучкова, И. В. Ковалева. М. : ИВЦ Минфина, 2007.
- Элиот, В.* Биохимия и молекулярная биология / В. Элиот, Д. Элиот. М. : МАИК Наука / Интерпериодика, 2002.
- Gilbert, H.* Basic Concepts in biochemistry / H. Gilbert. Paperbach, 1999.

Рекомендуемые источники информации в интернете

- www.chem.qmul.ac.uk/iubmb – Биохимическая классификация и номенклатура. Свободный доступ на сайте Международного союза биохимии и молекулярной биологии.
- www.chemport.org – Научные издания в области биохимии, химии и смежных наук.
- www.febs.org – Официальный сайт Федерации европейских биохимических обществ.
- www.molbiol.ru – Учебники, научные монографии, обзоры, лабораторные практики в свободном доступе на сайте практической молекулярной биологии.
- www.ncbi.nlm.nih.gov/Genbank и www.swissprot.com – База данных по всем первичным структурам белков в свободном доступе.
- www.ncbi.nlm.nih.gov/PubMed – Лучшие обзорные статьи по биохимии в журнале “Annual Review of Biochemistry” можно найти на сайте.
- www.ncbi.nlm.nih.gov/PubMed – Свободный доступ в крупнейшую базу научных данных в области биомедицинских наук MedLine, включая биохимию.

СОДЕРЖАНИЕ

| | |
|---|----|
| ПРЕДИСЛОВИЕ | 3 |
| СТРУКТУРНАЯ БИОХИМИЯ..... | 4 |
| Аминокислоты, пептиды, белки | 4 |
| Ферменты..... | 8 |
| Нуклеозиды, нуклеотиды, нуклеиновые кислоты | 12 |
| Углеводы | 20 |
| Липиды..... | 27 |
| Витамины и коферменты | 32 |
| Жирорастворимые витамины | 38 |
| Водорастворимые витамины и их производные..... | 39 |
| МЕТАБОЛИЧЕСКАЯ БИОХИМИЯ..... | 43 |
| Обмен углеводами | 43 |
| Энергетика биохимических процессов..... | 57 |
| Обмен липидов..... | 63 |
| Метаболизм белков, пептидов, аминокислот | 67 |
| Метаболизм гемопротеинов | 72 |
| Метаболизм ДНК и РНК | 77 |
| Интеграция и регуляция метаболизма | 81 |
| ЛИТЕРАТУРА | 90 |

Учебное издание

БИОХИМИЯ В СХЕМАХ И ТАБЛИЦАХ

**Пособие для студентов
биологического факультета**

С о с т а в и т е л и

Семак Игорь Викторович

Губич Оксана Игоревна

Кукулянская Татьяна Александровна

Орел Наталия Михайловна

В авторской редакции

Ответственный за выпуск *Е. А. Логвинович*

Художник обложки *Т. Ю. Таран*

Технический редактор *Г. М. Романчук*

Компьютерная верстка *Т. А. Малько*

Корректоры *А. Г. Терехова, Н. П. Ракицкая*

Подписано в печать 29.12.2011. Формат 60×84/16. Бумага офсетная.

Печать офсетная. Усл. печ. л. 5,35. Уч.-изд. л. 3,11.

Тираж 100 экз. Заказ

Белорусский государственный университет.

ЛИ № 02330/0494425 от 08.04.2009.

Пр. Независимости, 4, 220030, Минск.

Республиканское унитарное предприятие

«Издательский центр Белорусского

государственного университета».

ЛП № 02330/0494178 от 03.04.2009.

Ул. Красноармейская, 6, 220030, Минск.