

УДК 557.1(075.8)  
ББК 28.072  
Е80

*Рецензенты:*

зав. кафедрой «Биохимия» Московского государственного  
университета прикладной биотехнологии  
д-р хим. наук, проф. *Э.Г. Розанцев*;  
зав. кафедрой «Общая и биоорганическая химия»  
Московского государственного медико-стоматологического уни-  
верситета д-р физ. наук, проф. *А.С. Берлянд*

**Ершов Ю. А.**

Е80 Основы биохимии для инженеров : учеб. пособие / Ю. А. Ер-  
шов, Н. И. Зайцева; под ред. С. И. Щукина – М. : Изд-во  
МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2010. — 359, [1] с. : ил. – (Биомеди-  
цинская инженерия в техническом университете).

ISBN 978-5-7038-3210-3

На современном научном уровне изложен материал по струк-  
турной и метаболической биохимии. Содержатся сведения по хи-  
мическому составу биологических систем и структурной организа-  
ции живой материи, описаны последовательности основных мета-  
болических реакций, а также представлены главные направления  
развития этой новой отрасли науки и техники.

Содержание учебного пособия соответствует курсу лекций,  
читаемых в Московском государственном техническом универси-  
тете имени Н.Э. Баумана.

Для студентов высших технических учебных заведений, обу-  
чающихся по направлению подготовки «Биомедицинская техника».

УДК 557.1(075.8)  
ББК 28.072

ISBN 978-5-7038-3210-3

© Ершов Ю.А., Зайцева Н.И., 2010  
© Оформление. Издательство  
МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2010

## ПРЕДИСЛОВИЕ

Современная биохимия, изучающая протекание химических реакций в организме, представляет обширную научную область, в которую входят почти все отрасли химии и биологии. Высокий уровень знаний по этим дисциплинам – необходимое условие эффективной подготовки инженеров для работы в областях, смежных с медициной: биотехнологии и медицинской техники.

Данное учебное пособие ориентировано на изучение биологической химии (биохимии) в техническом университете, и его содержание соответствует курсу лекций, читаемых в Московском государственном техническом университете имени Н.Э. Баумана.

В учебном пособии на современном научном уровне изложен материал по структурной и метаболической биохимии. Рассмотрены основные биохимические компоненты организма человека и их роль в обеспечении различных биохимических процессов и физиологических функций организма. Особое внимание уделено физико-химической сущности биохимических процессов. На молекулярном уровне рассмотрены механизмы тех явлений, с которыми приходится встречаться в медицинской практике.

Каждая глава учебного пособия содержит информацию, необходимую специалисту при рассмотрении физико-химической сущности процессов и их механизмов, происходящих в живом организме на молекулярном и клеточном уровнях. Представлены методы, позволяющие выполнять расчет различных характеристик процессов. Такие знания позволят более глубоко понять функции как отдельных систем, так и организма в целом, а также его взаимодействие с технической аппаратурой.

Первые главы учебного пособия содержат материал по химическому составу биологических систем и структурной организации живой материи, а также физико-химические законы, определяющие функциональные свойства биогенных веществ. Здесь же обсуждаются принципы структурной организации биомолекул, рассматриваются структура и химические свойства белков, нуклеиновых кислот, углеводов и липидов, содержится информация о теории растворов, рассмотрены основные вопросы кинетики химических реакций и основы ферментативной кинетики. Изложение общих положений современной теории растворов электролитов служит основой для последующего изучения электролитного баланса чело-

веческого организма и выяснения последствий его нарушения. Кроме того, представленный теоретический материал является ключевым для понимания важнейшей роли буферных систем организма и кислотно-основного статуса крови человека, а также роли гидролитических процессов в метаболизме. Изложенные основы ферментативной кинетики дают представление о методах научного подхода к изучению механизмов протекания метаболических процессов и каталитической активности ферментов.

В последующих главах описаны последовательности основных метаболических реакций. Вначале студент знакомится с такими важнейшими теоретическими обобщениями, как первое и второе начало термодинамики, некоторыми основными понятиями термодинамики открытых систем. Здесь приведены практические сведения по определению термодинамических параметров биохимических процессов. Изложенный материал позволит читателю получить представление об энергетическом балансе человеческого организма, о специфических особенностях преобразования одних видов энергии в другие в процессах жизнедеятельности. Далее рассмотрены метаболические пути превращения основных биомолекул: углеводов, белков и жиров. При этом акцент сделан на то, что многие на первый взгляд сложные процессы метаболизма легко понять, если рассматривать их как этапы, необходимые для сопряжения реакции расщепления аденозинтрифосфата с реакциями биосинтеза.

Последняя глава книги посвящена вопросам биотехнологии. Представлены основные направления развития этой новой отрасли науки и техники. Особое внимание уделено современным научным подходам к математическому моделированию биотехнологических процессов микробиологического синтеза, начиная от моделей накопления биомассы, антибиотиков, аминокислот и других продуктов жизнедеятельности микроорганизмов и заканчивая моделями, учитывающими возрастную структуру популяции, автоселекцию и адаптацию микробных сообществ.

Заключают книгу контрольные вопросы и задачи, разбитые по главам в соответствии с изложенным в них материалом.

Авторы надеются, что учебное пособие будет полезно в процессе подготовки в технических вузах квалифицированных специалистов, которые впоследствии будут работать в смежных с медициной областях, и с благодарностью примут критические замечания и пожелания по изложенным в нем материалам.

## **ОСОБЕННОСТИ БИОГЕННЫХ ВЕЩЕСТВ И БИОХИМИЧЕСКИХ ПРЕВРАЩЕНИЙ**

*Биологическая химия (биохимия) – наука о веществах, входящих в состав живых организмов, и о химических превращениях одних биогенных (синтезируемых живой природой) веществ в другие. Иными словами, биохимия – это органическая химия биогенных веществ. Биохимия изучает процессы, протекающие в организме, как *in vivo* (в живых системах), так и *in vitro* (в колбе). Провести четкие границы между биохимией и смежными науками, такими как биология клетки, анатомия, физиология, генетика и фармакология, достаточно сложно, и чаще всего эти границы весьма произвольны. Перекрывание этих областей знаний не случайно: зачастую у них общие объекты исследований, например нервная клетка, митохондрия и т.д., различны лишь подходы и методы изучения.*

### **1.1. ПРЕДМЕТ, МЕТОДЫ И ОБЪЕКТЫ БИОХИМИИ**

Биохимия сформировалась в самостоятельную науку в XIX в. Принципиальное значение для развития биохимии имел первый синтез мочевины – вещества, являющегося конечным продуктом белкового обмена у большинства позвоночных и человека, проведенный Ф. Велером в 1828 г. и подорвавший существовавшие до этого представления о «жизненной силе», якобы участвующей в синтезе различных веществ, который происходит в организме. Внедрение в биологию идей и методов физики и химии, а также стремление объяснить различные биологические явления, такие как наследственность, изменчивость, мышечное сокращение, строением и свойствами биополимеров привело в середине XX в. к выделению из биохимии молекулярной биологии. Биохимия – одна из наук, входящих в комплекс, включающий физико-химичес-

## **ВОДА И ЕЕ РОЛЬ В ПРОЦЕССЕ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ**

*Как известно, жизнь зародилась в воде и по-прежнему остается с ней тесно связанной. Поэтому физико-химические свойства воды имеют фундаментальное значение для процессов жизнедеятельности.*

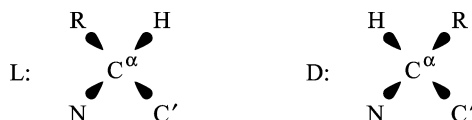
### **2.1. КОЛЛИГАТИВНЫЕ СВОЙСТВА ВОДЫ. ОСМОТИЧЕСКОЕ ДАВЛЕНИЕ ПЛАЗМЫ КРОВИ. ГОМЕОСТАЗ**

Организм человека в среднем на 60 % состоит из воды. Вода заполняет все составные части клетки и внеклеточного пространства и представляет собой среду, в которой осуществляется транспорт веществ, метаболические реакции и перенос химической энергии. Вода является основой циркулирующей жидкости, а также принимает участие в обменных процессах. Она выступает в роли среды, в которой растворены или диспергированы различные вещества, входящие в состав организма, в ней содержатся основные макрокомпоненты организма – белки, углеводы, липиды, нуклеиновые кислоты, а также микроэлементы.

Растворенные в воде вещества меняют ее физико-химические свойства. Известны такие свойства воды, изменение которых связано в основном с числом (количеством) растворенных частиц и не зависит от химического строения растворенного вещества. Эти свойства называют *коллигативными*. К ним относятся четыре термодинамических свойства воды, когда с увеличением концентрации растворенного вещества наблюдается: 1) понижение давления пара над раствором; 2) повышение температуры кипения воды и 3) понижение температуры ее замерзания; 4) повышение осмотического давления раствора.

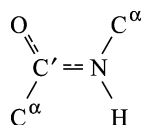
### АМИНОКИСЛОТЫ И БЕЛКИ

Белки представляют собой полипептидные цепи, состоящие из большого числа соединенных между собой аминокислот. Аминокислоты, из которых сложена полипептидная цепь, могут находиться в двух зеркально-симметричных стереических формах – L и D. В них массивный боковой радикал (R) и атом водорода, стоящие при  $\alpha$ -углероде ( $C^\alpha$ ) аминокислоты, меняются местами:



Белковые цепи сложены только из остатков L-аминокислот. D-аминокислотные остатки, встречающиеся в пептидах, не кодируются при матричном синтезе белка, а синтезируются специальными ферментами. Рацемизация (L → D переход) в белках спонтанно практически не происходит.

Аминокислоты в белковой цепи связаны между собой пептидными связями атомов  $C'$  и N. Важную роль в структуре белка играет как жесткость этих связей, так и плоская форма всей пептидной группировки:



И то и другое обеспечивается так называемой  $sp^2$ -гибридизацией электронов атомов N и  $C'$ , преобразующей одну сферическую s- и две вытянутые p-орбитали электронов атома в три  $sp^2$ -орбитали и формирующей три ковалентные связи, лежащие в одной плоскости ( $\rightarrow \bullet \leftarrow$ ).

---

## ФЕРМЕНТЫ – БИОКАТАЛИЗАТОРЫ

*Ферменты – это белки, синтезируемые живыми клетками. Они являются катализаторами биологического происхождения, ускоряющими биохимические реакции. Термин «фермент» (от лат. *fermentum* – закваска) был предложен в начале XVII в. голландским ученым Ван Гельмонтом для веществ, влияющих на спиртовое брожение. Второе название ферментов – энзимы, что в переводе с греческого означает «в закваске», также связано с дрожжевыми клетками.*

### 4.1. КАТАЛИТИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ ФЕРМЕНТОВ

В 1897 г. Эдварду Бухнеру впервые удалось выделить (в виде водного экстракта) из клетки набор ферментов, катализирующих расщепление сахара в процессе брожения. Тем самым было доказано, что выделенные из клетки ферменты сохраняют способность функционировать. Белковая природа ферментов была окончательно признана лишь в 1930-е годы после работ Джона Нортропа с сотрудниками, выделившими в чистом виде *пепсин* и *трипсин* и установившими их белковую природу. Однако даже в настоящее время многие вопросы, касающиеся ферментов, еще не получили полного ответа. Например, почему молекулы ферментов намного крупнее субстратов, на которые они действуют? Молекулярные массы ферментов лежат в пределах от 12 000 до 1 000 000, что намного превышает размеры их субстратов. Или каким образом аминокислоты, сами по себе не способные ускорять химические реакции, после соединения в специфические последовательности создают мощные каталитические системы?

Каталитическая активность ферментов зависит от степени сохранности нативной структуры белка и исчезает при нагрева-

---

## КИНЕТИКА БИОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

*Наука, изучающая зависимость скорости химических процессов от условий их протекания, называется химической кинетикой.*

*Кинетика биологических процессов – это раздел физической химии, в котором изучается скорость протекания биохимических процессов, определяемая в первую очередь свойствами катализатора. Вследствие этого она значительно сложнее, чем кинетика некаталитических реакций.*

*Изучение кинетики связано с экспериментальным измерением концентрации реагентов в ходе реакции. Методы химической кинетики подразделяют на химические, физические и биохимические в зависимости от способа измерения количества вещества или его концентрации через определенные промежутки времени. К химическим относятся методы, основанные на традиционных способах количественного химического анализа (например, титрометрический). Из физических наиболее широко применяются спектральные методы, основанные, как правило, на измерении спектров поглощения реагентов или продуктов в ультрафиолетовой, видимой и инфракрасной областях. Широко используют также спектры электронного парамагнитного резонанса (ЭПР) и ядерного магнитного резонанса (ЯМР).*

### 5.1. КИНЕТИЧЕСКИЕ УРАВНЕНИЯ. ПОРЯДОК РЕАКЦИИ. ПЕРИОД ПОЛУПРЕВРАЩЕНИЯ

Задача сводится к определению концентрации реагентов  $C_i$  как функции от времени по скорости реакции:

$$v_i = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} v_i = \pm \frac{dC_i}{dt}, \quad (5.1)$$

где  $C_i = C_i(t)$  — концентрация  $i$ -го реагента в момент времени  $t$ .



---

## УГЛЕВОДЫ

*Углеводы (сахара) – группа природных полигидроксиальдегидов и полигидроксикетонов с общей формулой  $(CH_2O)_n$ . Углеводы являются важными компонентами питания.*

*По числу мономерных единиц углеводы подразделяются на моносахариды, олигосахариды и полисахариды.*

*К моносахаридам (монозам) относят полиоксиальдегиды (альдозы) и полиоксикетоны (кетозы). По числу  $n$  углеродных атомов в молекуле моносахариды делят на триозы ( $n = 3$ ), тетрозы ( $n = 4$ ), пентозы ( $n = 5$ ), гексозы ( $n = 6$ ), гептозы ( $n = 7$ ), октозы ( $n = 8$ ), наноzy ( $n = 9$ ). Наиболее важными являются пентозы и гексозы. Для моносахаридов характерна стереоизомерия. По взаимному расположению она содержится в свободном виде в сладких фруктах, является обязательным компонентом крови человека и других млекопитающих*

*, входит в качестве основного звена в состав многих природных олиго- и полисахаридов. Содержание глюкозы в крови человека считается в норме от 80 до 120 мг в 100 мл крови. Из остатков глюкозы построены важнейшие полисахариды – гексозаны.*

мл воды), а также источником ненасыщенных жирных кислот. Оптимальная норма обеспечения организма жирами составляет 80 – 100 г в сутки, из них 20 – 25 г должны быть растительными жирами.

В организме человека содержится 10 – 12 % липидов, которые могут быть разделены на два вида: *протоплазматические* и *резервные*.



# 9

## ВИТАМИНЫ – НЕЗАМЕНИМЫЕ КОМПОНЕНТЫ ПИЩИ

Витамины представляют собой группу органических веществ, имеющих, как правило, сложное и разнообразное строение. Витамины регулируют окисление углеводов, органических кислот, аминокислот, некоторые из которых входят в состав

$NAD^+$ ,  $NADP$ .

Биосинтез витаминов свойственен преимущественно зеленым растениям. В животных организмах самостоятельно синтезируются только витамины D и E.

### 9.1. НОМЕНКЛАТУРА И КЛАССИФИКАЦИЯ ВИТАМИНОВ

Витамины делятся на две группы: водорастворимые (C, B<sub>1</sub>, B<sub>2</sub>, фолиевая кислота, B<sub>5</sub>, B<sub>12</sub>, B<sub>6</sub>, PP, B<sub>3</sub>, H) и жирорастворимые (A, D, E, K).

Суточная потребность человека, мг

Водорастворимые			
B <sub>1</sub>	Тиамин	Антиневритный	1,4
B <sub>2</sub>	Рибофлавин	Витамин роста	1,7
B <sub>3</sub>	Пантотеновая кислота	Антидерматитный фактор	10,0

---

## МИНЕРАЛЬНЫЕ ВЕЩЕСТВА И МИКРОЭЛЕМЕНТЫ

*Жизненно необходимые элементы подразделяются на макроэлементы (суточная потребность более 100 мг) и микроэлементы (суточная потребность менее 100 мг). Обмен минеральных веществ контролируется гормонами. Количество минеральных веществ, абсорбированных из пищи, как правило, зависит от метаболических потребностей организма и в ряде случаев от состава пищевых продуктов. Их роль в жизнедеятельности организма чрезвычайно важна. В живых организмах микроэлементы входят в состав ферментов, гормонов, витаминов и других жизненно важных соединений. Обычно считают, что в таких соединениях участвует около 30 микроэлементов.*

### 10.1. РОЛЬ МИНЕРАЛЬНЫХ ВЕЩЕСТВ И МИКРОЭЛЕМЕНТОВ В ПРОЦЕССЕ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ

Строго говоря, активация ферментов возможна как микроэлементами, так и макроэлементами. Экспериментально доказано, что микроэлементы необходимы для многих важнейших биохимических процессов, недостаток элементов замедляет эти процессы и даже останавливает их. Для белкового, углеводного и жирового обмена веществ необходимы Mo, Fe, V, Co, W, B, Mn, Zn; в синтезе белков участвуют Mg, Mn, Fe, Co, Cu, Ni, Cr; в кроветворении – Co, Cu, Mn, Ni, Zn; в обеспечении организма кислородом – Mg, Fe, Cu, Zn, Mn, Co.

Суточная потребность организма человека в различных минеральных веществах, не считая микроэлементов, в г: кальций – 0,7...0,8; фосфор – 1,5...2,0; калий – 2,0...3,0; натрий – 4,0...6,0; железо – 0,008...0,01; хлор – 6,0...9,0. В табл. 10.1 представлены биохимические функции микроэлементов.

---

## МЕТАБОЛИЗМ И БИОЭНЕРГЕТИКА

*Метаболизм – биохимические превращения веществ, поступающих с пищей, построение из них тканей организма. Метаболизм включает также распад. В основе метаболизма лежит высокоорганизованная и целенаправленная клеточная активность. Интенсивность и направленность метаболизма обеспечивается регуляцией химического синтеза и химического распада, активностью ферментов, а также изменением проницаемости биологических мембран.*

*Различают две тесно взаимосвязанные стороны обмена веществ и энергии: катаболизм и анаболизм.*

### 11.1. ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ ВЗАИМОСВЯЗЬ АНАБОЛИЗМА И КАТАБОЛИЗМА

Катаболические превращения (от греч. *katabole* – сбрасывание, разрушение) направлены на расщепление сложных молекул (как поступивших с пищей, так и уже входящих в состав клеток) до простых компонентов (на конечных стадиях – преимущественно до диоксида углерода и воды). Катаболизм – это путь от сложного в простому, окислительные, экзергонические процессы, сопровождающиеся понижением энергии Гиббса ( $\Delta G$ ). Эта энергия запасается и идет на обеспечение реакций анаболических путей.

Анаболические превращения (от греч. *anabole* – подъем) направлены на образование и обновление структурно-функциональных компонентов клетки, т. е. на синтез сложных

## МЕТАБОЛИЗМ УГЛЕВОДОВ

Существуют три пути превращения поступающей в организм глюкозы: 1) немедленное включение в энергетический метаболизм; 2) превращение в гликоген для долгосрочного хранения; 3) превращение в липиды. Первый путь представляет собой хорошо известный гликолитический путь Эмбдена – Мейергофа с переходом в цикл Кребса.

Суммарную реакцию окисления глюкозы можно описать уравнением



В клетках окисление глюкозы протекает многостадийно и сопряжено с синтезом АТФ из АДФ и  $P_i$ . Окисление глюкозы до  $\text{CO}_2$  и  $\text{H}_2\text{O}$  в организме можно разделить на три этапа (см. § 11.1):

1) *гликолиз* – процесс расщепления глюкозы на два трехуглеродных фрагмента пировиноградной кислоты – *пирувата*, протекающий в цитоплазме клетки и сопряженный с восстановлением переносчика электронов;

2) *цикл Кребса* (или цикл лимонной кислоты, или цикл трикарбоновых кислот) – совокупность реакций, в результате которых второй и третий атомы углерода пировиноградной кислоты превращаются в  $\text{CO}_2$  с восстановлением молекул–переносчиков электронов. Таким образом, этот процесс является окислительно-восстановительным, причем молекулярный кислород в нем не участвует. Следует отметить, что цикл Кребса протекает в митохондриях;

3) *перенос электронов на  $\text{O}_2$* , который, в свою очередь, забирая из окружающей среды водород в виде протонов, превращается в  $\text{H}_2\text{O}$  (*электронтранспортная цепь*). Эта стадия протекает во внутренней мембране митохондрий и сопровождается образованием наибольшего количества АТФ. При этом биологическое окисление не обязательно связано с участием кислорода.

### ЦИКЛ ЛИМОННОЙ КИСЛОТЫ (КРЕБСА)

Цикл лимонной кислоты, или цикл Кребса, – метаболический процесс, представляющий собой цикл реакций, протекающих в матрице митохондрий, в ходе которых осуществляется окисление ацетильных групп (рис. 13.1). При окислении ацетильных групп

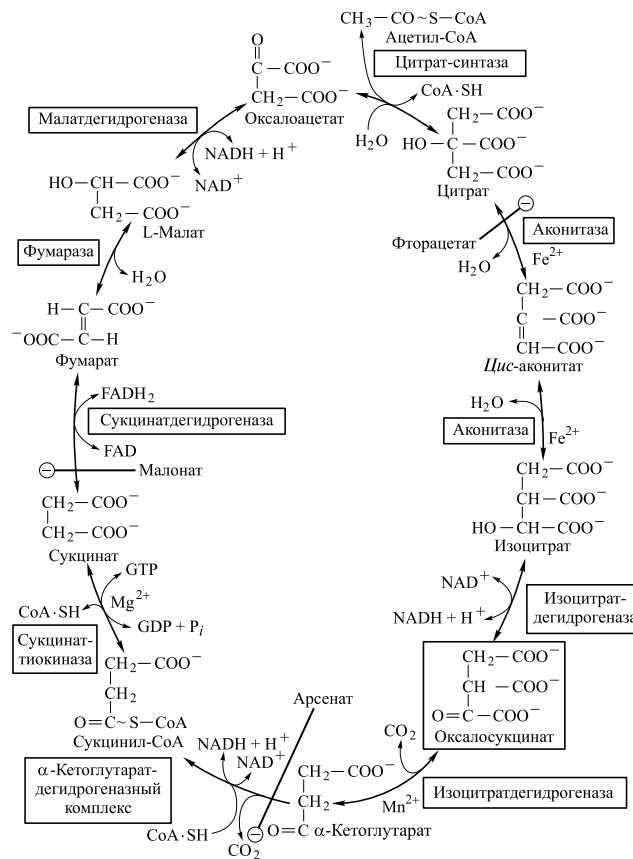


Рис. 13.1. Цикл Кребса





## МЕТАБОЛИЗМ АМИНОКИСЛОТ И НУКЛЕОТИДОВ

*Основным источником аминокислот в организме являются белки пищи. В организме взрослого человека метаболизм азота в целом сбалансирован, т. е. количества поступающего и выделяемого белкового азота примерно равны. Если выделяется только часть вновь поступающего азота, баланс положителен. Это наблюдается, например, при росте организма. Отрицательный баланс встречается редко, главным образом как следствие заболеваний.*

### 15.1. ПУТИ И ЭНЕРГЕТИКА МЕТАБОЛИЗМА АМИНОКИСЛОТ В ТКАНЯХ ЖИВОТНЫХ

Метаболизм аминокислот включен в общую схему метаболизма организма (рис. 15.1). Переваривание пищевых белков осуществляется под действием протеолитических ферментов (пептид-гидролазы, пептидазы, протеазы) и начинается в желудке, а завершается в тонком кишечнике (табл. 15.1).

*Таблица 15.1*

#### Некоторые протеолитические ферменты пищеварительного тракта

Профермент	Место синтеза	Место активации и активатор	Расщепляемые пептидные связи
Пепсиноген	Слизистая оболочка желудка	<i>Полость желудка</i> Отщепление N-концевого пептида от пепсиногена под влиянием HCl и пепсина	x-Tyr- x-Phe-

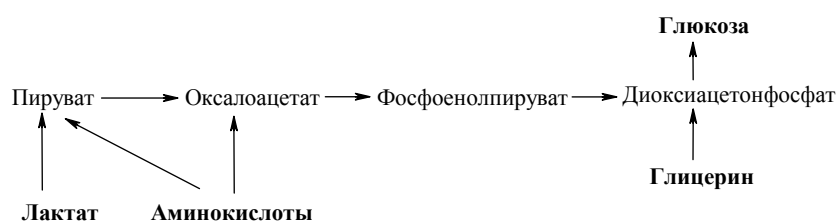
## БИОСИНТЕЗ УГЛЕВОДОВ

*Гликолиз – превращение глюкозы в пируват – является центральным путем катаболизма углеводов. Обратный гликолизу анаболический путь – синтез глюкозы из неуглеводных веществ, один из наиболее важных биосинтетических процессов, называется глюконеогенезом.*

### 16.1. ПУТИ И ЭНЕРГЕТИКА ГЛЮКОНЕОГЕНЕЗА. ГЛЮКОНЕОГЕНЕЗ В ПЕРИОД ВОССТАНОВЛЕНИЯ ПОСЛЕ МЫШЕЧНОЙ РАБОТЫ

Глюконеогенез – синтез глюкозы из неуглеводных веществ. Такими веществами могут быть пируват или любое соединение, превращающееся в процессе катаболизма в пируват, или один из промежуточных продуктов цикла Кребса, в частности лактат, так называемые гликогенные аминокислоты, глицерин.

На схеме показаны пути включения первичных субстратов в глюконеогенез:



У млекопитающих глюконеогенез в основном осуществляется в печени, в меньшей степени – в почках и клетках слизистой кишечника. В условиях длительной физической работы, а также при углеводном или полном голодании концентрация глюкозы в крови поддерживается за счет глюконеогенеза.

---

## ОСНОВЫ БИОТЕХНОЛОГИИ

*Биотехнология – пограничная между биологией и техникой научная дисциплина и сфера практики, изучающая пути и методы изменения окружающей человека природной среды в соответствии с его потребностями, в частности, получение продуктов и материалов с помощью биологических агентов.*

*В качестве разделов в нее входят биохимия и прикладная биохимия, медицинская и промышленная микробиология, энзимология, а также разделы, связанные с конструированием промышленного оборудования и созданием специализированных поточных линий.*

*К биотехнологии относится любое производство, в котором используются живые организмы (животные, растения, микроорганизмы) и продукты их жизнедеятельности.*

*Согласно определению созданной в 1978 г. Европейской биотехнологической федерации, биотехнология, основываясь на применении знаний и методов биохимии, микробиологии, генетики и химической технологии, позволяет в ходе технологического процесса получать вещества и соединения, важные для жизни и благосостояния людей, с помощью легкодоступных и возобновляемых ресурсов. К биотехнологии, в частности, относят использование культур бактерий, дрожжей, животных или растений, метаболизм и биосинтез которых обеспечивают выработку специфических биогенных веществ.*

### 17.1. ПРОМЫШЛЕННОЕ ПРИМЕНЕНИЕ ПРИЕМОВ И МЕТОДОВ БИОТЕХНОЛОГИИ

Биотехнология включает в себя, с одной стороны, отрасли промышленности, в которых биотехнологические методы могут с успехом заменить широко используемые в настоящее время традиционные методы, а с другой – современные отрасли, в которых

## ВОПРОСЫ И ЗАДАЧИ

### Глава 1

1. К какому типу относятся клетки организма человека: к гетеротрофам или автотрофам?

2. Перечислите основные структурные элементы эукариотической клетки.

3. Назовите основные функции клетки.

4. Где в клетке синтезируется АТФ?

5. Перечислите известные вам физические и химические методы анализа, используемые в биохимии.

6. Рассчитайте число молекул глюкозы, содержащихся в одной клетке *Mycoplasma pneumoniae* (микоплазмы – самые мелкие сферические клетки с диаметром около 0,33 мкм), если известно, что ее концентрация в клетке 1,2 мМ/л (миллимоля/литр). Рассчитайте молярную концентрацию гексокиназы (мол. масса 100 000, количество 10 г/л), являющейся ферментом для запуска цепи реакций расщепления глюкозы в клетке *Mycoplasma pneumoniae*.

7. Сколько весит одна клетка *E. coli*, имеющая цилиндрическую форму высотой 2,0 мкм и диаметром 0,8 мкм, если ее плотность в среднем равна 1,05 г/см<sup>3</sup>? Какую долю (в %) от общего объема бактерии составляет клеточная стенка, если толщина последней равна 10,0 нм?

8. Определите число микроворсинок на поверхности эпителиальной клетки, если она представляет собой сферу диаметром 20 мкм, микроворсинки имеют форму цилиндров высотой 1,0 мкм и диаметром 0,1 мкм, расположены на поверхности клетки в виде регулярной решетки с расстоянием 0,2 мкм между центрами двух микроворсинок и занимают 25 % площади поверхности клетки.

9. На сколько процентов увеличится поглощающая способность эпителиальной клетки (см. задачу 8) благодаря наличию микроворсинок? (Поглощающая способность определяется отношением площади поверхности клетки к ее объему.)

### Глава 2

1. Перечислите аминокислоты, имеющие в боковой цепи карбоксильные группы.





- Гидрофосфат-ион см. моногидрофосфат-ион 36
- Гипертонический раствор 30
- Гистидин 48, 257, 258
- Гистоны 149
- Гликоген 124, 292
- биосинтез 290
  - запасной полисахарид 293
  - в мышцах 293
  - в печени 290
  - структура 124
- Гликоген-синтаза 291
- Гликоген-фосфорилаза 293
- Гликозидные связи 124
- Гликолиз 211
- в анаэробных условиях 214
  - в аэробных условиях 214
  - энергетический баланс 216
- Гликолипиды 125
- Гликопротеины 125
- Глицеральдегид-3-фосфат 212
- Глицерин 129
- Глицерол-3-фосфат 244
- Глицин 47, 268
- Глобулярные белки 77, 81
- Глутаматдегидрогеназа 254, 262, 266
- Глутамин 49
- Глутаминовая кислота (глутамат) 48, 254
- Глюкагон
- роль в регуляции 247
- Глюкоза 117
- анаэробное окисление 214
  - аэробное окисление 214
  - глюкозо-6-фосфат 286
- Глюконеогенез 286
- Голофермент 86
- Гомеостаз
- водно-солевой 31
  - кислотно-основной 32
- Гормон(ы)
- гормональная регуляция 247
- Гуаниловая кислота 277
- Гуанин 143
- Гуанозинмонофосфат (ГМФ, гунилат) 144
- Двойной липидный слой 139
- Дегидрогеназы 228
- Дезаминирование (реакция) 255, 257
- Дезоксирибоза 121, 140
- Дезоксирибонуклеиновая кислота см. ДНК 140
- Дезоксирибонуклеозид 143
- Денатурация 78
- Диабет 249, 250
- Диализ 70
- 3,4-дигидроксифенилаланин см. Дофа 261
- Дигидрофосфат-ион 36
- Динуклеотид 146
- Дипептид 62
- Дисахариды
- в питании 121, 123
- Диссоциация 33
- Длина волны 71
- ДНК
- двойная спираль 147
  - денатурация 154
  - ДНК-полимеразы 151
  - ренатурация 154
  - репликация 151
- ДНК-лигаза 152
- ДНК-полимераза 151
- Дофа (дигидроксифенилаланин) 260
- Дыхательная цепь 226
- Железо** 180
- Желудочный сок 32
- Жирные кислоты 127, 128
- Закон**
- Аррениуса 109
  - Гесса 203
  - действующих масс для скорости 101



- Ламберта–Бугера–Бера 72
- Рауля 27
- термодинамики 1-й, 2-й 197–202
- Заменимые аминокислоты 253
- Зона буферного действия 38
- Изолейцин** 47
- Изомеразы 94
- Изотонический раствор 30
- Изоэлектрическая точка 50
- Ингибиторы ферментов 96, 98
- Инозиновая кислота 274
- Инозинмонофосфат (ИМФ) 274
- Инсулин 247
- Иод 183
- Кальциферол, витамин D** 157, 171
- Катаболизм 12, 190
- Каталитический центр ферментов 96
- Кератин 79
- Кетоза 117
- Кетоз 241
- Кетон(ы) 25
- Кислот(ы) 25
- Классы ферментов 89
- Клетка 14
  - мембрана 130, 131
- Клеточная популяция 316
  - квазихимическая модель роста 316, 320
- Кобальт 182
- Кодон 151
- Коллаген 79
- Комплекс фермент-субстратный 96
- Комплементарные основания 148
- Константа
  - кислотно-основного равновесия 35
  - Михаэлиса 112
  - скорости реакции 101
- Кофактор ферментов 86, 96
  - CoA 283
  - CoQ 226
- Коэффициент экстинкции 72
- Крахмал 124, 302
- Креатинфосфат 210
- Лактатдегидрогеназа** 90
- Лактоза 121
- Лауриновая кислота 127
- Лейцин 47
- Лиазы 93
- Лигазы 95
- Лизин 48
- Линолевая кислота 127
- Липиды 126
- Липопротеины 136
- Макроэлементы** 23
- Малат-дегидрогеназа 217
- Мальтоза 121
- Манноза 118
- Марганец 184
- Медь 181
- Меланин 261
- Метаболизм 9
- Метионин 47
- Микроэлементы 23
- Миоглобин 84
- Митохондрия 18, 226
- Мицеллы 138
- Молибден 187
- Моногидрофосфат-ион 36
- Моносахариды
  - пиранозная форма 117
  - фуранозная форма 117
- Мочевина
  - цикл 263
- Никотинамидадениндинуклеотид (NAD/ NADH)** 146
- Никотинамидадениндинуклеотид-фосфат (NADP/NADPH)** 146
- Нингидрин 59
- Нуклеозид 143
- Нуклеозидтрифосфаты 276
- Нуклеотиды 144, 270
  - биосинтез 144

**Окислитель** 222  
 Окислительно-восстановительные реакции 25  
 Окислительно-восстановительный потенциал 222  
 Окислительное  
 – декарбоксилирование 219  
 – фосфорилирование 220  
 Оксидоредуктазы 91  
 Олеиновая кислота 127  
 Осмос 29  
 Осмотическое давление 29  
 Осмометрический метод 69

**Пальмитиновая кислота** 127  
 Пальмитоолеиновая кислота 127  
 Пентозы 117  
 Пепсин 251  
 Пептидная связь 62  
 Первичная структура 74  
 Пероксидаза 87  
 Пиримидиновые нуклеотиды 278  
 Пируватдегидрогеназа 218  
 Пируваткарбоксилаза 215, 288  
 Пируваткиназа 87  
 Плавление ДНК 154  
 Плазмолиз 30  
 Пластохинон 296  
 Пластоцианин 296  
 Полипептиды 62  
 Праймер 152  
 Прокариоты 15  
 Пролин 49  
 Протеинкиназа 208

**Рацемизация** 45  
 Реакция  
 – простая 104  
 – сложная 106  
 Регуляция  
 – биосинтеза жирных кислот 242  
 – биосинтеза триацилглицеридов 244  
 Ренатурация 78  
 Репликация 141, 151  
 Ретинол 169

Рибоза 120, 140  
 Рибонуклеиновая кислота (РНК) 140–142  
 – матричная 141  
 – рибосомальная 141  
 – транспортная 141  
 Рибонуклеозид 143  
 Рибофлавин 160  
 Рибоза 120

**Сахароза** 123  
 Селен 188  
 Серин 49, 257  
 Сиаловая кислота 135  
 Синтазы 93  
 Сквален 248  
 $\beta$ -слои (складки) 74  
 Спектроскопические методы 71  
 Спектрофотометр 72  
 Спектр поглощения 72  
 $\alpha$ -спираль 75  
 Спиральная структура 75  
 Субстраты ферментативных реакций 95, 110  
 Субъединица 76

**Тетрогидрофолиевая кислота** 268  
 Тиамин 156, 158  
 Тилакоиды 296  
 Тимин 143  
 Тиол(ы) 25  
 Тирозин 47, 259  
 Титрование  
 – потенциометрическое 43  
 Токоферол 172  
 Трансляция 141  
 Трансаминазы 256  
 Трансферазы 92  
 Транскрипция 141  
 Треонин 49  
 Третичная структура 75  
 Трипсин 65  
 Триптофан 47  
 Тропоколлаген 79



## ЛИТЕРАТУРА

### *Основная*

1. *Березов Т.Т., Коровкин Б.Ф.* Биологическая химия. М.: Медицина, 1998. – 704 с.
2. *Ленинджер А.* Основы биохимии. М.: Мир, 1985. – 1055 с.
3. *Николаев А. Я.* Биологическая химия, М.: Медицинское информационное агентство, 2004.
4. Биохимия с упражнениями и задачами / под ред. *Е.Н. Северина* ГЭОТАР-Медиа, 2008. – 448 с.
5. *Строев Е. А.* Биологическая химия. М.: Высш. шк., 1986. – 444 с.
6. *Флорентьев В. Л.* Биохимия. М.: 2004. – 464 с.

### *Дополнительная*

1. *Доусон Р.* и др. Справочник биохимика. М.: Мир, 1991. – 464 с.
2. *Ершов Ю.А.* и др. Общая химия. 8-е изд. М.: Высш. шк., 2009. – 560 с.
3. *Ершов Ю.А.* и др. Кинетика и термодинамика биохимических и физиологических процессов. М.: Медицина, 1990. – 208 с.
4. *Кольман Я., Рем К.-Г.* Наглядная биохимия. М.: Мир, 2004. – 269 с.
5. Основы общей биологии / ред. Э. Либберт. М.: Мир, 1982. – 440 с.
6. *Румянцев Е.В., Антина Е.В., Чистяков Ю.В.* Химические основы жизни. М.: Химия, 2007. – 202 с.
7. *Хмелевский Ю.В., Усатенко О.К.* Основные биохимические константы человека в норме и при патологии. Киев: Здоровье, 1987. – 160 с.
8. <http://www.plib.ru/library/>

## ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие .....	5
<b>1. Особенности биогенных веществ и биохимических превращений .....</b>	<b>7</b>
1.1. Предмет, методы и объекты биохимии .....	7
1.2. Химические процессы в высокоорганизованных системах ...	8
1.3. Клетка – основной структурный элемент живой материи .....	13
1.4. Состав живой материи .....	21
<b>2. Вода и ее роль в процессе жизнедеятельности .....</b>	<b>26</b>
2.1. Коллигативные свойства воды. Осмотическое давление плазмы крови. Гомеостаз .....	26
2.2. Кислотно-основной статус человека .....	31
2.3. Теория кислот и оснований .....	33
2.4. Буферные свойства растворов .....	36
2.5. Экспериментальное определение кислотно-основных свойств органических соединений методом титриметрии .....	43
<b>3. Аминокислоты и белки .....</b>	<b>45</b>
3.1. Общие структурные свойства аминокислот .....	46
3.2. Белки и их главные биологические функции .....	61
3.3. Структура белков .....	74
3.4. Классификация белков. Биологические функции белков .....	77
<b>4. Ферменты – биокатализаторы .....</b>	<b>85</b>
4.1. Каталитическая активность ферментов .....	85
4.2. Реакционная и субстратная специфичность .....	87
4.3. Классификация ферментов на основе реакционной и субстрат- ной специфичности .....	89
4.4. Активные центры ферментов .....	95
4.5. Активаторы и ингибиторы ферментов .....	98
<b>5. Кинетика биологических процессов .....</b>	<b>100</b>
5.1. Кинетические уравнения. Порядок реакции. Период полупре- вращения .....	100
5.2. Зависимость скорости ферментативных реакций от concentra- ции субстрата, среды и температуры. Уравнение Михаэлиса– Ментен и его параметры .....	110
5.3. Фармакокинетика .....	115
	357

<b>6. Углеводы</b> .....	117
6.1. Моносахариды .....	117
6.2. Олиго- и полисахариды .....	121
<b>7. Липиды и биомембраны</b> .....	126
7.1. Биологические функции липидов .....	126
7.2. Жирные кислоты .....	127
7.3. Триацилглицериды – запасаемая форма липидов .....	129
7.4. Краткая характеристика клеточных мембран .....	130
7.5. Фосфо- и сфинголипиды – структурные компоненты биомембран .....	131
7.6. Стероидные липиды. Липопротеины .....	136
7.7. Мицеллярные растворы липидов. Образование мембран .....	138
<b>8. ДНК и РНК – хранение и реализация наследственной информации</b> .....	140
8.1. Строение и функции ДНК и РНК .....	140
8.2. Азотистые основания и нуклеотиды .....	143
8.3. Нуклеотиды и их функции .....	144
8.4. Первичная, вторичная, третичная и четвертичная структуры ДНК .....	147
8.5. Генетический код. Репликация ДНК .....	150
8.6. Денатурация и ренатурация ДНК .....	152
<b>9. Витамины – незаменимые компоненты пищи</b> .....	156
9.1. Номенклатура и классификация витаминов .....	156
9.2. Характеристика и физиологическое значение витаминов .....	158
<b>10. Минеральные вещества и микроэлементы</b> .....	175
10.1. Роль минеральных веществ и микроэлементов в процессе жизнедеятельности .....	175
10.2. Использование макро- и микроэлементов в биомедицинской практике .....	180
<b>11. Метаболизм и биоэнергетика</b> .....	190
11.1. Энергетическая взаимосвязь анаболизма и катаболизма .....	190
11.2. АТФ и NADPH – переносчики энергии от катаболических реакций к анаболическим .....	193
11.3. Термодинамические основы биохимии .....	195
11.4. Прогноз направления метаболической реакции .....	202
11.5. Энергия Гиббса гидролиза АТФ .....	207
<b>12. Метаболизм углеводов</b> .....	211
12.1. Гликолиз – центральный путь катаболизма глюкозы .....	212
12.2. Спиртовое и молочнокислое брожение .....	214
<b>13. Цикл лимонной кислоты (Кребса)</b> .....	217
13.1. Роль ацетил-СоА. Вторичные пути катаболизма глюкозы .....	218



*Учебное издание*

**Биомедицинская инженерия в техническом университете**

**Ершов Юрий Алексеевич**  
**Зайцева Наталья Ильинична**

**ОСНОВЫ БИОХИМИИ ДЛЯ ИНЖЕНЕРОВ**

Редактор *М.К. Петросян*  
Технический редактор *Э.А. Кулакова*  
Художник *С.С. Водчиц*  
Корректор *О.Ю. Соколова*  
Компьютерная графика *О.В. Левашовой*  
Компьютерная верстка *А.Ю. Ураловой*

Оригинал-макет подготовлен  
в Издательстве МГТУ им. Н.Э. Баумана.

Санитарно-эпидемиологическое заключение  
№ 77.99.60.953.Д.003961.04.08 от 22.04.08 г.

Подписано в печать 07.10.2010. Формат 60×90/16.  
Усл. печ. л. 22,5. Тираж 500 экз. Заказ

Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана.  
105005, Москва, 2-я Бауманская, 5.  
E-mail: [press@bmstu.ru](mailto:press@bmstu.ru)  
<http://www.baumanpress.ru>

Отпечатано  
в ГУП ППП «Типография Наука».  
121099, Москва, Шубинский пер., 6.

ISBN 978-5-7038-3210-3



9 785703 1832103