

МИНИСТЕРСТВО ЗДРАВООХРАНЕНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ
УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ
«ГОМЕЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ МЕДИЦИНСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра медицинской биологии и генетики

С. Н. БОБРОВА, С. В. ОВСЕПЯН

ОРГАНИЗАЦИЯ ПОТОКОВ ВЕЩЕСТВА, ЭНЕРГИИ, ИНФОРМАЦИИ

**Учебно-методическое пособие
для слушателей подготовительных курсов
факультета по подготовке специалистов для зарубежных стран
и подготовительного отделения
факультета довузовской подготовки медицинских вузов**

**Гомель
ГомГМУ
2015**

УДК 577.213 (072)

ББК 28.04я73

Б 72

Рецензенты:

кандидат биологических наук, доцент,
доцент кафедры экологии Гомельского государственного
университета имени Франциска Скорины

А. Н. Кусенков;

кандидат биологических наук, доцент,
ведущий научный сотрудник лаборатории генетики и биотехнологии
Института леса Национальной академии наук Беларуси

О. Ю. Баранов

Боброва, С. Н.

Б 72 Организация потоков вещества, энергии, информации: учеб.-метод.
пособие для слушателей подготовительных курсов факультета по под-
готовке специалистов для зарубежных стран и подготовительного от-
деления факультета довузовской подготовки медицинских вузов /
С. Н. Боброва, С. В. Овсеян. — Гомель: ГомГМУ, 2015. — 36 с.
ISBN 978-985-506-714-7

Материал пособия изложен в соответствии с программой по биологии для слушателей факультета по подготовке специалистов для зарубежных стран. Его цель — помочь учащимся приобрести знания по биологии, необходимые для успешной сдачи вступительных экзаменов и для дальнейшей учебы в качестве студентов.

Предназначено для слушателей подготовительных курсов факультета по подготовке специалистов для зарубежных стран и подготовительного отделения факультета довузовской подготовки медицинских вузов.

Утверждено и рекомендовано к изданию научно-методическим советом учреждения образования «Гомельский государственный медицинский университет» 29 декабря 2014 года, протокол № 8.

УДК 577.213 (072)

ББК 28.04я73

ISBN 978-985-506-714-7

© Учреждение образования
«Гомельский государственный
медицинский университет», 2015

ОБМЕН ВЕЩЕСТВ И ПРЕОБРАЗОВАНИЕ ЭНЕРГИИ В ОРГАНИЗМЕ

Существование живых организмов возможно только благодаря поступлению в них веществ из окружающей среды, их превращению и выведению из организма продуктов жизнедеятельности. Любая живая клетка представляет собой активную, динамичную систему. В ней происходит преобразование энергии, синтез, распад и перенос веществ. Совокупность этих процессов носит название *обмен веществ* или *метаболизм* (от греч. *метаболе* — перемена, превращение).

В организмах одновременно происходят процессы двух типов: синтеза и расщепления веществ. Совокупность реакций синтеза сложных органических веществ из более простых называется *ассимиляцией* (от лат. *ассимиляцио* — усвоение) или *анаболизмом* (от греч. *анаболе* — подъем). Также эти процессы называются *пластическим обменом* (от греч. *пластос* — образованный). В ходе пластического обмена из веществ, поступивших из окружающей среды, синтезируются вещества, специфичные для данного организма (углеводы, жиры, белки и др.). Синтезированные вещества используются на построение новых клеток и обновление клеточных структур. Процессы синтеза идут с затратами энергии, которая сосредоточена в молекулах АТФ (аденозинтрифосфорной кислоты).

Расщепление сложных органических веществ и превращение их в конечные продукты обмена — углекислый газ, воду, аммиак — называется *диссимиляцией* (от лат. *дис* — нарушение; *ассимиляцио* — усвоение) или *катаболизмом* (от греч. *катаболе* — разрушение). Реакции катаболизма сопровождаются выделением энергии, часть которой теряется, рассеиваясь в виде тепла, а часть запасается в макроэргических (высокоэнергетических) фосфатных связях молекул АТФ. АТФ является универсальным хранителем и переносчиком энергии в клетках всех организмов. Совокупность реакций расщепления сложных соединений, сопровождающихся выделением энергии и синтезом молекул АТФ, называется *энергетическим обменом*.

Ассимиляция и диссимиляция проходят в клетке одновременно. Эти процессы взаимосвязаны. Энергия, освободившаяся в клетках в процессе диссимиляции, используется на биосинтез, а синтезированные в ходе ассимиляции органические вещества расщепляются в процессе диссимиляции.

Для осуществления любых проявлений жизнедеятельности необходима энергия. Она требуется для процессов биохимического синтеза, для всех видов движения, в том числе и мышечного, для передачи нервных импульсов. Энергия требуется также для образования теплоты и поддержания постоянной температуры тела у птиц и млекопитающих.

Энергия тратится и на процессы активного переноса веществ через плазматическую мембрану (в клетку и из клетки), причем на это расходу-

ется весьма значительная часть энергетических ресурсов клетки. Расщепление органических веществ происходит постоянно, поэтому и синтез АТФ также происходит постоянно. За сутки в организме образуется и распадается около 60 кг АТФ.

Процессы ассимиляции не всегда уравновешены процессами диссимиляции. Так, в развивающемся организме преобладают процессы ассимиляции. Благодаря этому обеспечивается накопление веществ и рост организма. При интенсивной физической работе, недостатке питательных веществ или старении организма преобладают процессы диссимиляции.

Таким образом, ассимиляция и диссимиляция — это две стороны единого процесса обмена веществ и преобразования энергии в живых организмах (рисунок 1).

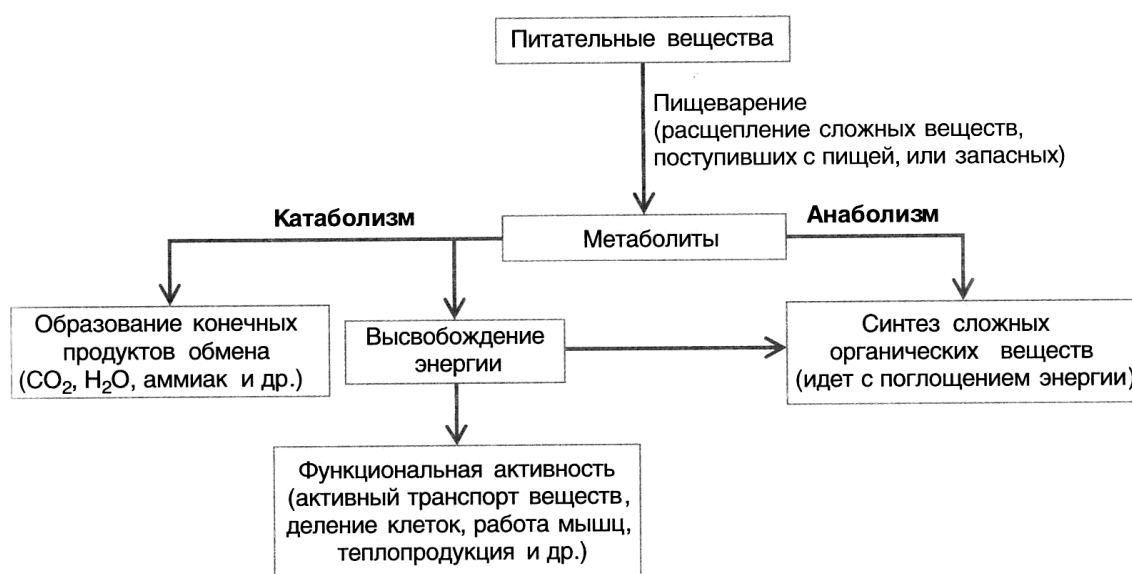


Рисунок 1 — Схема взаимосвязи обмена веществ и превращения энергии в организме

ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ ОБМЕН

Энергетический обмен — неотъемлемая и составная часть обмена веществ и энергии в живом организме, включающая процессы поглощения, запасания, передачи, трансформации, использования и выделения энергии. Сущность энергетического обмена — обеспечение энергетических потребностей клетки и организма в целом. Совокупность биохимических реакций, в результате которых органические вещества распадаются до простейших неорганических соединений, и при этом освобождается энергия химических связей, обеспечивающая жизнедеятельность организма, называется **дыханием** (рисунок 2).

Большинство живых организмов, обитающих на Земле, относятся к **аэробам** (от греч. *аэр* — воздух, *биос* — жизнь). Они используют в процессах обмена веществ кислород из окружающей среды. При **аэробном дыха-**

ниш субстрат без остатка расщепляется до бедных энергией неорганических веществ с высоким выходом энергии. Важнейшим субстратом для дыхания служат углеводы, кроме того, могут использоваться продукты расщепления жиров и белков.

У аэробов энергетический обмен происходит в три этапа: подготовительный, бескислородный и кислородный.

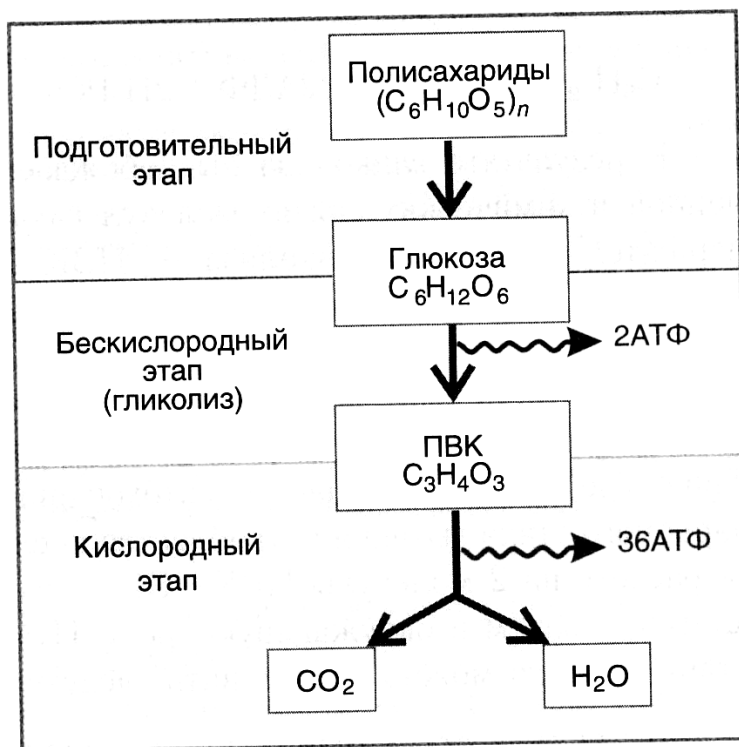


Рисунок 2 — Схема этапов клеточного дыхания

1. Подготовительный этап заключается в расщеплении сложных органических веществ до более простых: полисахаридов — до моносахаридов, липидов — до глицерина и высших карбоновых кислот, белков — до аминокислот. Эти процессы происходят в пищеварительной системе животных и цитоплазме клеток. Энергии на этом этапе выделяется мало, и она не запасается в молекулах АТФ, а рассеивается в виде тепла. Напротив, для прохождения этих реакций требуются затраты энергии.

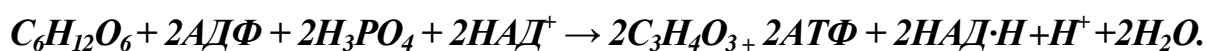
Образующиеся в ходе подготовительного этапа соединения могут использоваться клеткой в реакциях пластического обмена, а также для дальнейшего расщепления с целью получения энергии.

2. Бескислородный этап или неполный (анаэробное дыхание) заключается в ферментативном расщеплении органических веществ, которые были получены в ходе подготовительного этапа. Кислород на этом этапе не принимает участия.

Так как наиболее доступным источником энергии в клетке является продукт распада полисахаридов — глюкоза, то этот этап можно рассмотреть на примере ее расщепления — гликолиза.

Гликолиз — многоступенчатый процесс бескислородного расщепления молекулы глюкозы ($C_6H_{12}O_6$) до двух молекул трехуглеродной пировиноградной кислоты ($C_3H_4O_3$). Реакция катализируется многими ферментами и осуществляется в гиалоплазме. При этом от каждой молекулы глюкозы отщепляется четыре атома водорода. Атомы водорода присоединяются к переносчику НАД⁺ (никотинамидадениндинуклеотиду), который переходит в восстановленную форму НАД·Н. В ходе гликолиза при расщеплении 1 моль глюкозы выделяется 200 кДж энергии. До 60 % энергии рассеивается в виде тепла, а оставшихся 40 % энергии оказывается достаточно для синтеза двух молекул АТФ из двух молекул АДФ (аденозиндифосфорной кислоты).

Суммарная реакция гликолиза имеет вид:



Продукт гликолиза — пировиноградная кислота (ПВК) — включает в себе значительную часть энергии, поэтому дальнейшая судьба ее зависит от присутствия кислорода в клетке. В клетках аэробных организмов после гликолиза следует завершающий этап энергетического обмена — кислородное расщепление, или аэробное дыхание.

3. Кислородный этап (аэробное дыхание)

ПВК, образованная в результате гликолиза, поступает в митохондрии, проходя через обе их мембраны, и там полностью окисляется до конечных продуктов — углекислого газа и воды (CO_2 и H_2O). В ходе аэробного дыхания потребляется кислород и синтезируется большое количество АТФ. CO_2 выделяется из митохондрий в цитоплазму клетки, а затем в окружающую среду (рисунок 3).

Аэробное дыхание состоит из трех стадий:

1. *Окислительное декарбоксилирование пировиноградной кислоты.* При участии ферментов ПВК взаимодействует со сложным органическим веществом коэнзимом А (КоА), в результате чего образуется соединение ацетил-коэнзим А с высокоэнергетической связью. При этом от молекулы ПВК отщепляется молекула CO_2 и атомы водорода, которые связываются с НАД, восстанавливая его до НАД·Н.

2. *Цикл трикарбоновых кислот (цикл Кребса)* включает большое количество ферментативных реакций. Внутри матрикса митохондрий ацетил-коэнзим А, образованный на предыдущей стадии, расщепляется с высвобождением еще одной молекулы CO_2 и атомов водорода. Углекислый газ выводится из митохондрий и клеток, а атомы водорода восстанавливают коферменты НАД и ФАД (кофермент флавинадениндинуклеотид, еще один переносчик атомов водорода).

3. *Окислительное фосфорилирование* — многоступенчатый процесс переноса электронов от восстановленных НАД и ФАД на конечный акцептор — кислород. Во внутренней мембране митохондрий содержится фермент *АТФ-синтетаза*, а также белковые комплексы, образующие элек-

трон-транспортную цепь (ЭТЦ). В результате функционирования ЭТЦ атомы водорода, полученные от НАД и ФАД, разделяются на протоны (H^+) и электроны. Протоны переносятся через внутреннюю мембрану митохондрий и накапливаются в межмембранном пространстве. Электроны с помощью ЭТЦ доставляются в матрикс на конечный акцептор — кислород (O_2). Атомы водорода, акцептированные НАД и ФАД, вступают в цепь реакций, конечный результат которых — синтез АТФ.

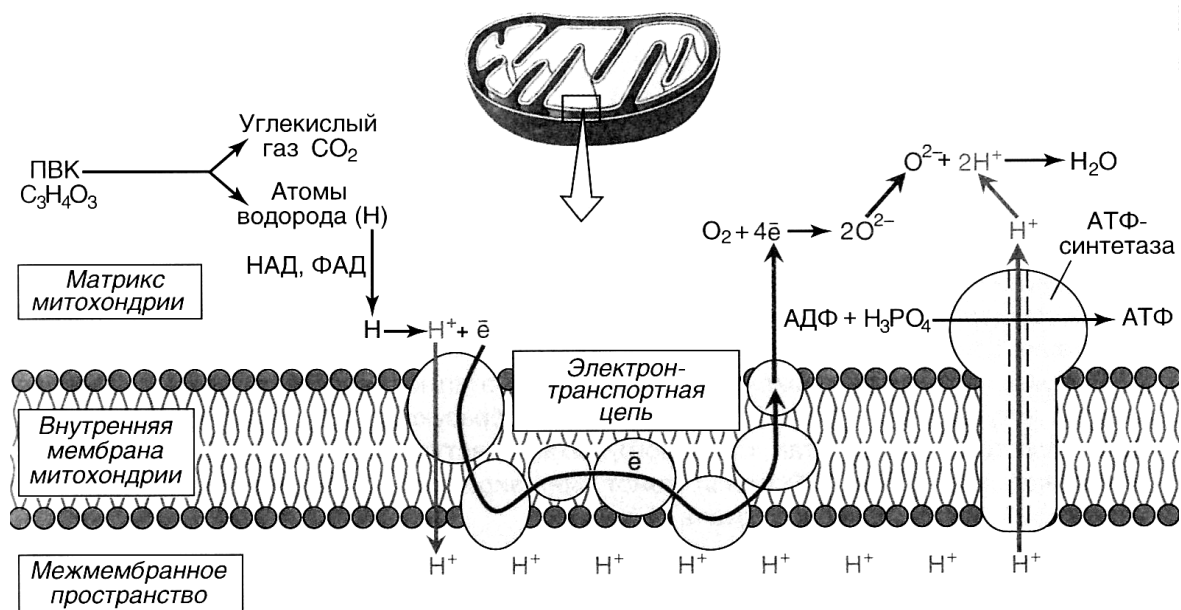


Рисунок 3 — Схема кислородного этапа клеточного дыхания

Это происходит в следующей последовательности:

1) атомы водорода отщепляются от $НАД \cdot H_2$ и $ФАД \cdot H_2$ и захватываются переносчиками, встроенными во внутреннюю мембрану митохондрии, которая образует множество впячиваний внутрь — так называемых *крист*, где происходит их окисление: $H \rightarrow H^+ + e$;

2) протоны водорода H^+ выносятся переносчиками на наружную поверхность крист. Для протонов эта мембрана, так же как и наружная мембрана митохондрии, непроницаема, поэтому они накапливаются в *межмембранном (перимитохондриальном) пространстве*, образуя *протонный резервуар*;

3) электроны (e) атомов водорода возвращаются по цепи дыхательных ферментов в матрикс и присоединяются к атомам кислорода, которые постоянно поступают в митохондрию. Атомы кислорода при этом становятся отрицательно заряженными: $\frac{1}{2} O_2 + 2e \rightarrow O^{2-}$;

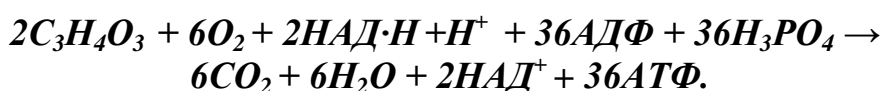
4) катионы и анионы по обе стороны мембраны создают разноименно заряженное электрическое поле, т. е. возникает разность потенциалов. Когда она достигает 200 мВ, начинает действовать протонный канал в молекулах АТФ-синтетазы (фермента, способного синтезировать АТФ из АДФ и фосфорной кислоты), которые встроены во внутреннюю мембрану митохондрий;

5) через протонный канал протоны водорода H^+ устремляются обратно в матрикс митохондрий, создавая высокий уровень энергии, большая часть которой идет на реакцию *фосфорилирования* (синтез АТФ из АДФ и фосфорной кислоты), а сами протоны водорода соединяются с активным кислородом (отрицательно заряженными частицами), образуя воду — второй конечный продукт клеточного дыхания: $2H^+ + O^{2-} \rightarrow H_2O$.

В результате кислородного расщепления при распаде двух молекул ПВК синтезируются 36 молекул АТФ:

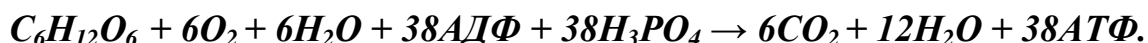


Итак, суммарное уравнение кислородного этапа дыхания можно представить следующим образом:



Следовательно, при полном расщеплении одной молекулы глюкозы клетка может синтезировать **38 молекул АТФ** (2 молекулы в процессе гликолиза и 36 молекул в ходе кислородного этапа).

Аэробное дыхание, включающее бескислородный и кислородный этапы, можно выразить суммарным уравнением:



Таким образом, кислород, поступивший в митохондрии, необходим для присоединения электронов, а затем и протонов. При отсутствии кислорода процессы, связанные с транспортом протонов и электронов в митохондриях, прекращаются, так как все переносчики атомов водорода окажутся загруженными и не смогут передавать водород дальше. В результате основной источник энергии для образования АТФ будет блокирован.

При распаде 1 молекулы глюкозы высвобождается 200 кДж энергии. В молекулах АТФ запасается 55 % энергии, остальная рассеивается в виде тепла.

БРОЖЕНИЕ

Некоторые клетки организмов, обитающих в бескислородной среде и не нуждающихся в кислороде (*анаэробов*), а также аэробов при недостатке кислорода способны синтезировать АТФ для жизнедеятельности, расщепляя питательные вещества в ходе бескислородного процесса — *брожения*. Суть его заключается в том, что глюкоза расщепляется до пировиноградной кислоты (как и в процессе гликолиза). Затем клетки превращают ПВК не в углекислый газ и воду, а в другие продукты. В зависимости от этого различают молочнокислое, спиртовое, уксуснокислое и другие виды брожения (рисунок 4).

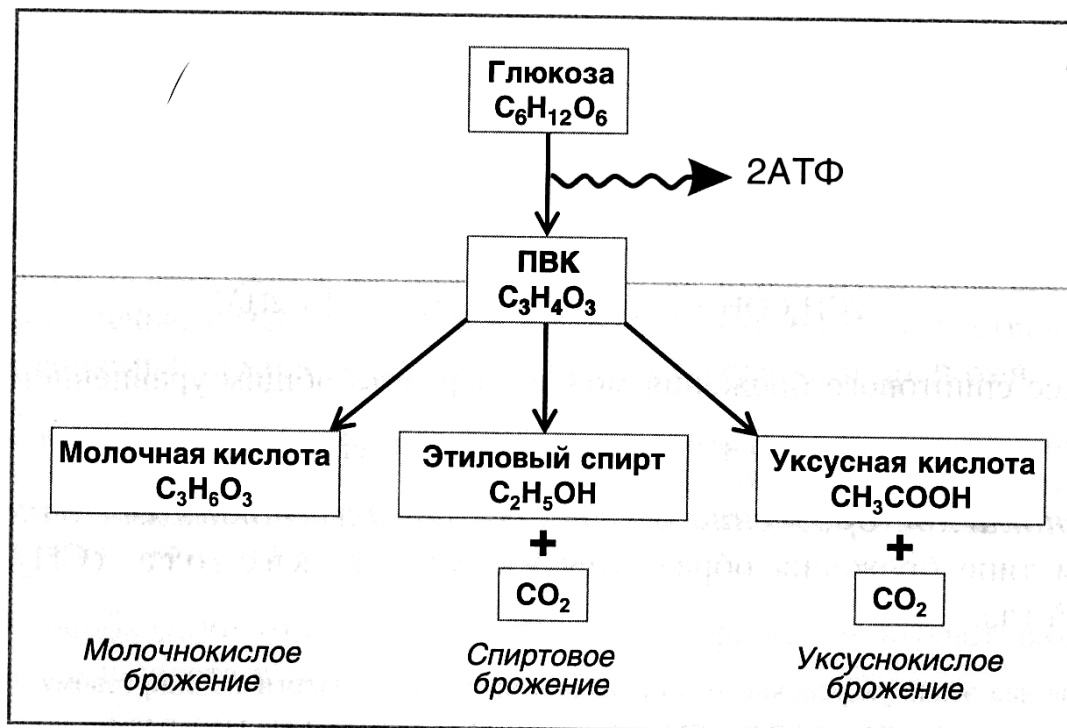
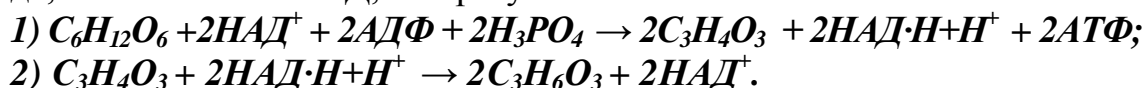


Рисунок 4 — Схема основных типов брожения

Молочнокислое брожение

При молочнокислом брожении глюкоза расщепляется до пировиноградной кислоты. При этом освобождаются атомы водорода, которые присоединяются к НАД⁺. Далее происходит восстановление ПВК атомами водорода, связанными с НАД, и образуется молочная кислота:



Суммарно этот процесс можно выразить уравнением:



Молочнокислое брожение осуществляют *молочнокислые бактерии* (например, некоторые *стрептококки*). Образование молочной кислоты по такому типу осуществляется также в мышечных клетках человека и животных, которые находятся в условиях дефицита кислорода. Накопление молочной кислоты является одной из причин развития утомления мышц. С током крови молочная кислота поступает в печень и почки, где перерабатывается в глюкозу.

Спиртовое брожение

Процесс спиртового брожения осуществляют *дрожжи*. При спиртовом брожении глюкоза расщепляется до ПВК, которая, в свою очередь, расщепляется с образованием *этилового спирта* (C₂H₅ОН) и углекислого газа.

Вначале спиртовое брожение идет аналогично молочнокислому:



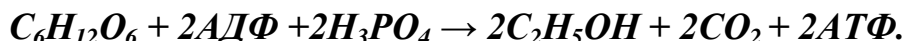
Затем пировиноградная кислота расщепляется с образованием уксусного альдегида и углекислого газа:



Уксусный альдегид восстанавливается до этилового спирта за счет НАД·Н+Н⁺:



Суммарно спиртовое брожение можно выразить следующим уравнением:

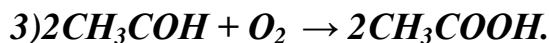


Спиртовое брожение широко распространено в природе. Кроме дрожжей, его осуществляют некоторые анаэробные бактерии. Этот тип брожения наблюдается и в клетках растений в отсутствие кислорода.

Уксуснокислое брожение осуществляется уксуснокислыми бактериями. При этом типе брожения образуется уксусная кислота и углекислый газ. Первые два этапа протекают аналогично спиртовому:



Завершающий этап идет с участием кислорода, который окисляет уксусный альдегид в уксусную кислоту:



Практическое значение брожения

Процессы брожения находят широкое практическое применение. Спиртовое брожение лежит в основе промышленного получения различных спиртов, прежде всего этилового, а также вина и пива. Сбраживание дрожжами виноградного сока лежит в основе виноделия; сбраживание пивного сусла, приготовленного из проросших семян ячменя, специальными пивными дрожжами — в основе пивоварения. Использование дрожжей в хлебопечении связано с тем, что углекислый газ, образующийся в процессе спиртового брожения, разрыхляет тесто, делая его пышным.

Уксуснокислое брожение лежит в основе получения пищевого уксуса. Молочнокислое брожение используется для получения различных кисломолочных продуктов, при солении и квашении овощей, силосовании кормов и т. д.

Продуктом совместной деятельности молочнокислых бактерий и дрожжей является кефир. Известно множество кисломолочных продуктов (кумыс, айран, йогурт и др.), для изготовления которых используется коровье, кобылье, верблюжье, овечье, козье молоко, а в качестве заквасок — естественно возникшие и сохраняемые комплексы молочнокислых бактерий и дрожжей.

ФОТОСИНТЕЗ

Понятие фотосинтеза. Для живых организмов Земли основным источником энергии является солнечный свет, благодаря которому удовлетворяются энергетические потребности. В процессе фотосинтеза растения, водоросли, цианобактерии с помощью специальных пигментов поглощают солнечную энергию и преобразуют ее в энергию химических связей органических веществ. При этом исходными соединениями для синтеза органических веществ служат бедные энергией неорганические вещества — углекислый газ и вода. Таким образом, **фотосинтез** представляет собой цепь окислительно-восстановительных реакций, в результате чего образуются органические вещества из углекислого газа и воды при участии фотосинтетических пигментов.

Фотосинтетические пигменты — это органические вещества, способные поглощать энергию света. Они поглощают свет определенной длины, а другие световые волны отражают.

Наиболее важными пигментами являются *хлорофиллы*. Известно около 10 видов хлорофилла (*a, b, c, d, e* и др.), которые отличаются друг от друга по химическому строению, окраске, распространению. У всех высших растений содержатся хлорофиллы *a* и *b*. Хлорофиллы *c* и *d* обнаружены у ряда водорослей и протистов, бактериохлорофиллы *a* и *b* — в клетках фотосинтезирующих зеленых и пурпурных бактерий.

Основным пигментом, участвующим в фотохимических реакциях, является хлорофилл *a* (у бактерий — бактериохлорофилл *a*). По химическому строению хлорофилл — это сложный эфир двухосновной хлорофиллиновой кислоты и двух остатков спиртов — фитола ($C_{20}H_{39}OH$) и метанола (CH_3OH). Центральное место в молекуле хлорофилла занимает атом магния.

Хлорофиллы поглощают свет в синей и красной областях спектра, а зеленый отражают, что и определяет зеленую окраску этих пигментов, следовательно, и листьев растений.

Другую группу фотосинтетических пигментов составляют *каротиноиды* (*каротины, ксантофиллы*), имеющие различную окраску — оранжевую, желтую, красную и др. Каротиноиды поглощают свет в синей и синне-зеленой областях спектра, недоступный другим пигментам, и передают поглощенную энергию хлорофиллам.

Для красных водорослей и цианобактерий, кроме хлорофиллов, характерны также *фикобилины* (*фикоцианин, фикоэритрин*). Эти пигменты имеют красную или синюю окраску и способны поглощать зеленый, синий и фиолетовый свет, проникающий в глубину морей и океанов.

У растений и водорослей фотосинтез осуществляется в специальных органоидах — *хлоропластах*. Внутренняя мембрана хлоропластов образует тилакоиды — плоские мешочки, уложенные в стопки (граны). В мембранах тилакоидов расположены фотосинтезирующие пигменты.

Преобразование энергии света в энергию химических связей происходит в *фотосистемах (ФС)*, которые являются элементарными структурами, представляющими собой пигментно-белковые комплексы, расположенные в мембранах тилакоидов гран хлоропластов.

Существует два типа фотосистем — фотосистема I и фотосистема II. В состав каждой входит *светособирающая антенна*, образованная молекулами пигментов, *реакционный центр (РЦ)* и *переносчики электронов*.

Светособирающая антенна функционирует наподобие воронки: молекулы пигментов поглощают свет и передают всю собранную энергию в реакционный центр, где находится *молекула-ловушка*, представленная хлорофиллом *a*. Поглотив энергию, молекула-ловушка переходит в возбужденное состояние и отдает один из своих электронов специальному переносчику, т. е. окисляется (рисунок 5).

Главное различие фотосистем заключается в том, что в состав ФС II входит особый ферментный комплекс, осуществляющий на свету *фотолиз воды* — расщепление молекул воды с образованием кислорода (O_2), электронов (e) и протонов (H^+).

Полученные при этом электроны используются ФС II для восстановления молекулы-ловушки в реакционном центре. В ФС I отсутствует подобный ферментный комплекс, поэтому она не способна использовать воду в качестве источника электронов для восстановления своей молекулы-ловушки.

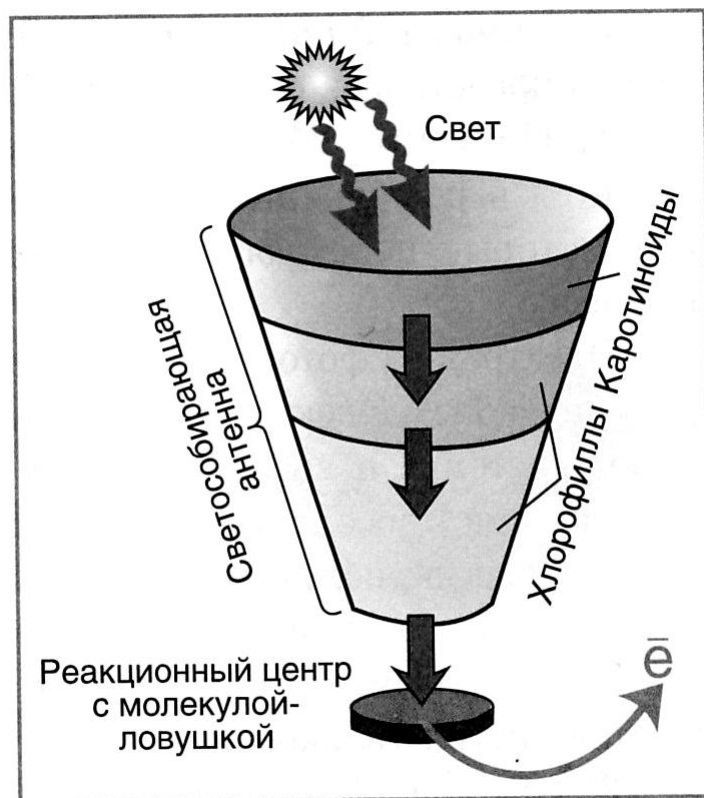


Рисунок 5 — Схема строения и работы фотосистемы

Фотосинтез — сложный и многоступенчатый процесс, в котором можно выделить две главные стадии: световую и темновую (рисунок 6).

Световая фаза фотосинтеза протекает на мембранах тилакоидов грани и только при наличии света. Она характеризуется преобразованием энергии солнечной радиации, поглощенной хлоропластами, сначала в электрохимическую энергию, а затем в энергию макроэргических связей АТФ. Это достигается путем переноса электронов и ионов водорода с помощью специальных переносчиков (ферредоксин, фермент редуктаза) через мембрану тилакоидов. Такой процесс переноса ионов H^+ и электронов получил название **хемиосмоса**. Хемиосмотическую теорию разработал английский биохимик П. Митчелл.

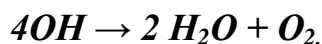
Световую фазу фотосинтеза можно представить следующим образом:

1. Пигменты обеих фотосистем поглощают свет. Свет, попадая в реакционные центры на молекулы-ловушки хлорофилла *a*, приводит их в возбужденное состояние. В результате этого электроны сходят со своих орбит и переносятся с помощью переносчиков за пределы мембраны тилакоида, где и накапливаются, создавая отрицательно заряженное электрическое поле.

Место вышедших электронов в молекулах хлорофилла занимают электроны воды, так как вода под действием света подвергается фоторазложению (фотолизу):



Гидроксилы OH , став радикалами OH , объединяются:



Образуется вода и свободный кислород, который выделяется из хлоропласта в гиалоплазму клетки, затем в окружающую среду. Кислород является побочным продуктом реакций фотосинтеза.

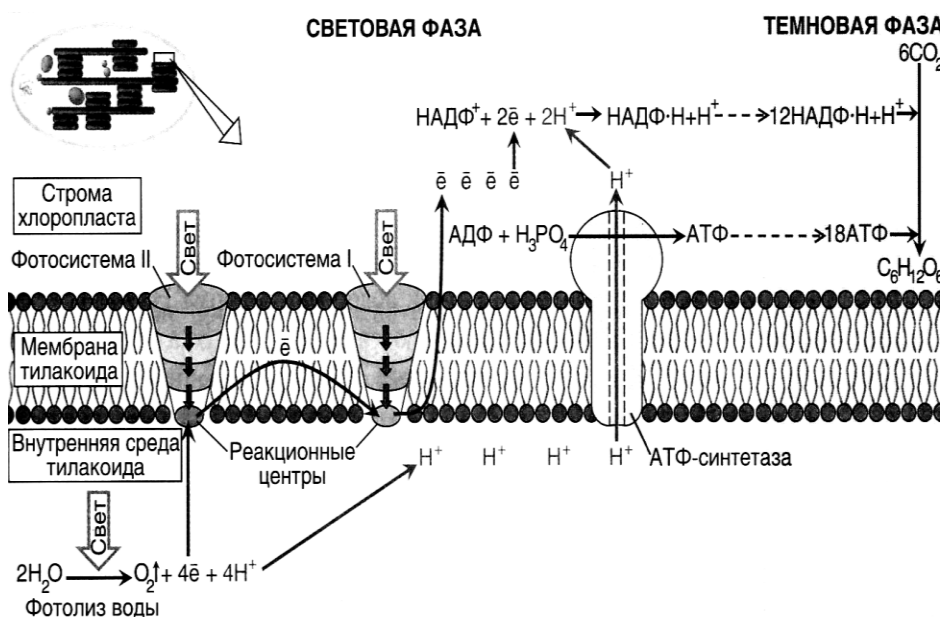


Рисунок 6 — Схема процесса фотосинтеза

Таким образом, электрон из фотосистемы I транспортируется переносчиками на внешнюю сторону тилакоида. Электрон из фотосистемы II с помощью переносчиков доставляется в фотосистему I и восстанавливает молекулу-ловушку в реакционном центре. Так фотосистема I восстанавливается за счет электронов из фотосистемы II, которая получает электроны за счет фотолиза воды.

2. Протоны H^+ не проникают через мембрану тилакоида и накапливаются внутри. Накопление ведет к возникновению электрохимического потенциала на его мембране. В мембране тилакоида содержится фермент *АТФ-синтетаза*. Когда концентрация протонов достигает определенного уровня, они устремляются в строму хлоропласта, проходя через специальные каналы АТФ-синтетазы. При этом АТФ-синтетаза использует энергию движения протонов для синтеза АТФ ($АДФ + Ф \rightarrow АТФ$). Образовавшиеся молекулы АТФ переходят в строму, где участвуют в реакциях фиксации углерода.

3. Протоны H^+ , вышедшие на поверхность мембраны внешней стороны тилакоида, соединяются с электронами, образуя атомарный водород, который идет на восстановление переносчика $НАДФ^+$:



Таким образом, в результате переноса электронов и протонов через мембрану тилакоида происходит превращение световой энергии в электрохимическую и далее в химическую энергию макроэргических связей молекулы АТФ. При этом происходит восстановление $НАДФ^+$ и выделение свободного кислорода. АТФ и $НАДФ \cdot H + H^+$ используются в реакциях фиксации углерода в темновой фазе фотосинтеза.

Темновая фаза фотосинтеза осуществляется в строме хлоропластов без непосредственного поглощения света. Цепь реакций, приводящих к восстановлению углекислого газа (CO_2) до уровня органических веществ, идет за счет использования энергии АТФ и $НАДФ \cdot H + H^+$, синтезированных в световую фазу и поступивших в строму от тилакоидов гран.

Углекислый газ поступает в хлоропласты из окружающей среды. Восстановление молекул CO_2 начинается с их фиксации молекулами акцептора — пятиуглеродного сахара рибулозодифосфата. При взаимодействии рибулозодифосфата и CO_2 сначала образуется нестойкое шестиуглеродное соединение, которое затем ферментативным путем распадается на две трехуглеродные молекулы фосфоглицериновой кислоты (ФГК). Дальнейшее превращение ФГК требует участия продуктов световой фазы фотосинтеза — АТФ и $НАДФ \cdot H + H^+$:



Следует учесть, что в этих реакциях одновременно участвуют многие однотипные молекулы. На определенном этапе судьба трехуглеродных молекул ФГК может оказаться различной. Одни из них соединяются друг с другом и образуют прежде всего шестиуглеродные углеводы, которые в

свою очередь могут полимеризоваться в крахмал, целлюлозу и другие вещества, перемещаться в другие клетки (в виде сахарозы) и полимеризоваться там, использоваться на энергетические и другие нужды.

Другие молекулы ФГК используются для синтеза аминокислот путем присоединения аминогрупп или синтеза карбоновых кислот, спиртов, в том числе глицерола и др.

Наконец, третья часть молекул ФГК вовлекается в длинный ряд реакций, которые приводят к превращению трехуглеродных молекул в молекулы исходного пятиуглеродного сахара, которые снова могут акцептировать углекислый газ.

Поскольку часть трехуглеродных конечных продуктов превращается в новые молекулы исходного пятиуглеродного сахара, процесс фиксации углерода по существу представляет собой цикл, называемый *C₃-циклом* (по его C₃-продуктам) или *циклом Кальвина* (в честь американского ученого М. Кальвина, открывшего этот процесс) (рисунок 7).

Таким образом, *фотосинтез* у растений — это процесс, при котором происходит поглощение электромагнитной энергии солнца хлорофиллом и вспомогательными пигментами, поглощение углекислого газа из атмосферы, восстановление его в органические соединения и выделение кислорода в атмосферу.

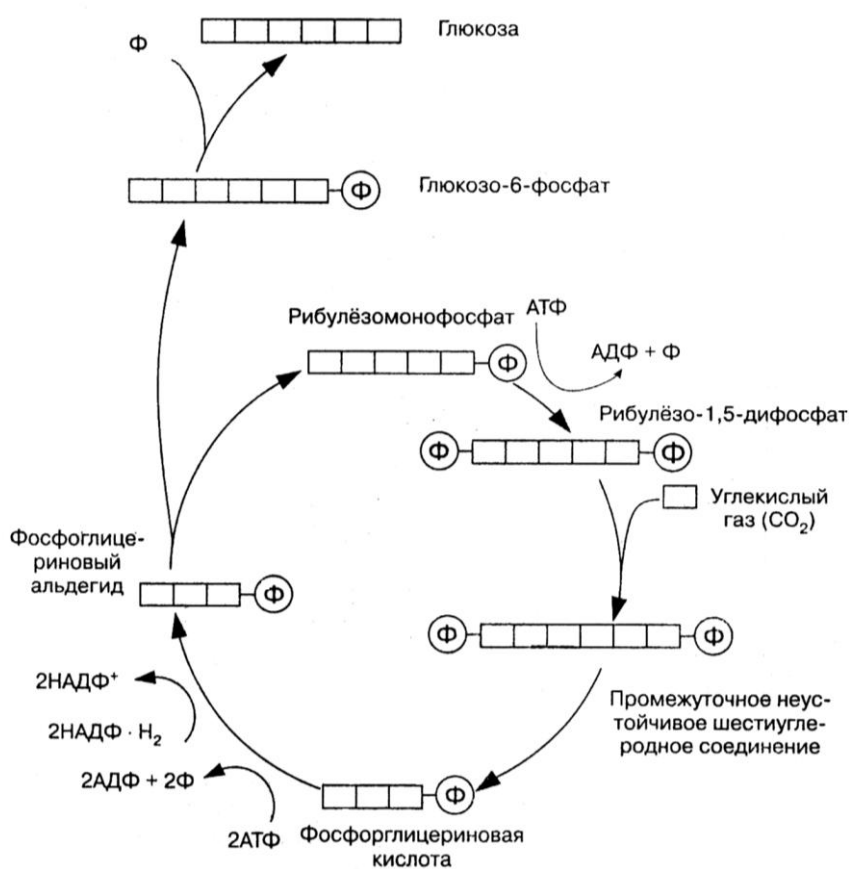


Рисунок 7 — Цикл Кальвина

Уникальность и общебиологическое значение фотосинтеза определяются тем, что ему обязано своим существованием все живое на нашей планете. Этот процесс является основным источником образования органических веществ, а также единственным источником свободного кислорода на Земле. Из кислорода образовался и поддерживается озоновый слой, защищающий живые организмы от коротковолновой ультрафиолетовой радиации. Кроме того, благодаря фотосинтезу регулируется содержание CO_2 в атмосфере.

В изучение процесса фотосинтеза, раскрытие его механизма большой вклад внесли русский ученый К. А. Тимирязев, американский М. Кальвин, австралийские М. Д. Хетч и К. Р. Слэк, а также наши белорусские ученые Т. Н. Годнев и А. А. Шлык.

Т. Н. Годнев — белорусский физиолог растений. Его основные научные работы посвящены биохимии фотосинтезирующих пигментов, в частности, хлорофиллу и его предшественникам, условиям их образования в растении. Годневу принадлежит теория образования хлорофилла. Им была создана белорусская школа исследователей биосинтеза хлорофилла.

Факторы, влияющие на фотосинтез. На скорость фотосинтеза оказывают влияние различные факторы окружающей среды: количество падающего света, наличие влаги, минеральных веществ, температура, концентрация CO_2 и др.

Для растений умеренного пояса максимальная интенсивность фотосинтеза наблюдается при 20–25 °С. Дальнейшее повышение температуры до 40 °С приводит к резкому снижению его интенсивности. В то же время некоторые растения пустынь способны осуществлять фотосинтез при температуре 58 °С. Минимальная температура, при которой еще может осуществляться фотосинтез, составляет –15 °С (при такой температуре фотосинтезируют некоторые морозостойкие растения — в частности, ель и сосна, но интенсивность фотосинтеза у них при такой температуре очень низкая).

Вода непосредственно участвует в фотосинтезе как источник атомов водорода. Кроме того, величина оводненности листьев определяет степень открывания устьиц и, следовательно, поступления CO_2 в лист.

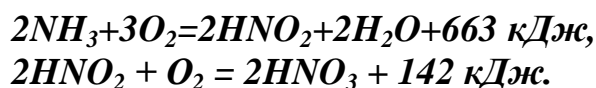
Существуют так называемые C_4 -растения, у которых фотосинтез может протекать при низких концентрациях CO_2 . В клетках мезофилла этих растений имеется особый фермент, который способствует присоединению CO_2 к трехуглеродной молекуле фосфоенолпировиноградной кислоты с образованием четырехуглеродного соединения — щавелевоуксусной кислоты (ЩУК), в составе которой временно удерживается CO_2 . Затем ЩУК переходит в другие клетки листа (например, в клетки обкладки проводящих пучков), где CO_2 отщепляется и накапливается в количествах, необходимых для нормального протекания фотосинтеза при высоких температурах. Такой процесс получил название **C_4 -фотосинтеза** и выработался в процессе эволюции у растений жарких, засушливых мест. К таким растениям относятся, например, кукуруза, сахарный тростник, сорго.

ХЕМОСИНТЕЗ

Кроме фотосинтеза, существует еще одна форма ассимиляции - *хемосинтез*, свойственный некоторым бактериям. В процессе хемосинтеза происходит преобразование одного вида энергии химических связей в другой вид. В отличие от фотосинтеза источником энергии в данном случае является не свет, а процесс окисления некоторых неорганических соединений: сероводорода, серы, аммиака, водорода, азотистой кислоты, оксидных соединений железа и марганца и др. Энергия, которая выделяется при окислении указанных неорганических соединений, используется хемосинтетиками для восстановления углекислого газа до органических соединений. Источником водорода для восстановления углекислого газа в ходе хемосинтеза является вода.

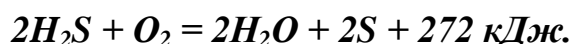
Открытие бактериального хемосинтеза принадлежит русскому ученому-микробиологу С. Н. Виноградскому.

Важнейшей группой хемосинтезирующих организмов являются *нитрифицирующие* бактерии, способные окислять образующийся при гниении органических остатков аммиак сначала до азотистой, а затем до азотной кислоты:

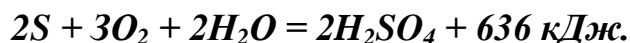


Этот процесс сопровождается выделением энергии. Азотная кислота, реагируя с минеральными соединениями почвы, превращается в соли азотной кислоты, которые хорошо усваиваются растениями.

Бесцветные *серобактерии* окисляют сероводород и накапливают в своих клетках серу:



При недостатке сероводорода бактерии производят дальнейшее окисление накопившейся в них серы до серной кислоты:



Железобактерии окисляют двухвалентное железо (Fe^{2+}) в трехвалентное (Fe^{3+}):



Водородные бактерии используют в качестве источника энергии реакции окисления молекулярного водорода, а в качестве единственного источника углерода — углекислый газ. Реакция окисления происходит по схеме:



Энергия, выделяемая при окислении указанных выше соединений, используется бактериями-хемосинтетиками для восстановления CO_2 до органических веществ.

Экологическая роль хемосинтеза. Хемотрофные нитрифицирующие бактерии широко распространены в природе. Они встречаются и в почве, и в разных водоемах. Масштаб осуществляемых ими процессов достаточно велик, поэтому хемосинтетики играют существенную роль в круговороте азота в биосфере.

Серобактерии способствуют постепенному разрушению и выветриванию горных пород вследствие образования ими серной кислоты, являются причиной порчи каменных и металлических сооружений, выщелачивания руд и серных месторождений. Многие виды серобактерий, окисляющие различные соединения серы до сульфатов, играют большую роль в процессах очищения промышленных сточных вод.

В результате деятельности некоторых железобактерий вырабатывается $Fe(OH)_3$, скопления которого образуют болотную железную руду.

Водородные бактерии участвуют в окислении водорода, накапливающегося в результате жизнедеятельности некоторых микроорганизмов в природных условиях. Они используются для получения дешевого пищевого и кормового белка, а также для регенерации (восстановления) атмосферы в замкнутых системах жизнеобеспечения (например, система «Оазис-2» была испытана на космическом корабле «Союз» в 1973 г.).

ХРАНЕНИЕ НАСЛЕДСТВЕННОЙ ИНФОРМАЦИИ. ГЕНЕТИЧЕСКИЙ КОД

Понятие о генетическом коде. Все морфологические, анатомические и функциональные особенности любой живой клетки и организма в целом определяются структурой специфических белков, входящих в состав клеток. Поэтому одним из важнейших процессов, происходящих в клетках живых организмов, является синтез белков.

Свойства белков определяются прежде всего их первичной структурой, т. е. последовательностью аминокислот, из которых построены их молекулы. Информация о первичной структуре белка заключена в последовательности нуклеотидов в молекулах ДНК. Следовательно, информация о строении и жизнедеятельности как клетки, так и многоклеточного организма заключена в нуклеотидной последовательности ДНК. Эта информация названа **наследственной** или **генетической**. Единая система записи информации о первичной структуре белка в виде последовательности нуклеотидов в полинуклеотидной цепи представляет собой **генетический код**.

Свойства генетического кода:

1. Код является **триплетным**, т. е. каждая аминокислота кодируется сочетанием из трех последовательно расположенных нуклеотидов четырех типов (А, Г, Т, Ц), которое называется **триплетом** или **кодоном**.

2. Код является *множественным* или *вырожденным*, т. е. одна и та же аминокислота может кодироваться несколькими триплетами (от 2 до 6). Нетрудно подсчитать, что число возможных комбинаций из четырех типов нуклеотидов по три (4^3) составит 64, что более чем достаточно для кодирования 20 аминокислот, входящих в состав белка. Исключение составляют метионин и триптофан: каждая из этих аминокислот кодируется только одним триплетом.

3. Код *однозначен*, т. е. каждый триплет кодирует только одну аминокислоту.

4. Код является *неперекрывающимся*, т. е. один и тот же нуклеотид не может входить одновременно в состав двух соседних триплетов.

5. Код *непрерывен* или *не имеет знаков препинания*. Считывание информации происходит последовательно — нуклеотид за нуклеотидом. Если произойдет выпадение одного нуклеотида, его место займет ближайший нуклеотид из соседнего кодона, из-за чего изменится весь порядок считывания информации. Поэтому правильное считывание кода с иРНК обеспечивается только в том случае, если он считывается со строго определенного пункта. Этим пунктом является стартовый кодон (в молекуле иРНК это триплеты АУГ и ГУГ).

6. Нуклеотидный код *универсален* для всех живых организмов и вирусов: одинаковые триплеты кодируют одинаковые аминокислоты. Это открытие представляет собой серьезный шаг на пути к более глубокому познанию сущности живой материи, ибо универсальность генетического кода свидетельствует о единстве происхождения всех живых организмов.

К настоящему времени расшифрованы триплеты для всех 20 аминокислот, входящих в состав природных белков. Таким образом, зная порядок расположения триплетов в молекуле ДНК или иРНК (генетический код), можно установить порядок расположения аминокислот в белке.

В одной молекуле ДНК может быть закодирована последовательность аминокислот для многих белков. Функциональный отрезок молекулы ДНК, несущий в себе информацию о структуре одного белка, называется **геном**. Различают структурные гены, в которых закодирована информация для синтеза структурных и ферментных белков, и гены с информацией для синтеза тРНК, рРНК и др.

Итак, план построения белка закодирован в ДНК, которая непосредственного участия в синтезе белковых молекул не принимает. Она служит лишь матрицей для синтеза иРНК.

РЕАЛИЗАЦИЯ НАСЛЕДСТВЕННОЙ ИНФОРМАЦИИ. СИНТЕЗ БЕЛКА НА РИБОСОМАХ

Процесс биосинтеза белка осуществляется на рибосомах, расположенных преимущественно в цитоплазме, а хранителем генетической информации является ДНК. Следовательно, для передачи генетической информации с ДНК, находящейся в ядре, к месту синтеза белка требуется посредник. Таким посредником является *информационная (матричная) РНК (иРНК)*, которая на основе принципа комплементарности синтезируется на одной из цепей молекулы ДНК.

Таким образом, реализация наследственной информации в клетке осуществляется в два этапа: сначала информация о структуре белка копируется с ДНК на иРНК, а затем реализуется на рибосомах в виде конечного продукта — белка. *Поток генетической информации* в клетке можно представить в виде схемы:



Транскрипция. Переписывание наследственной информации с ДНК на иРНК называется *транскрипцией*. Транскрипция происходит не на всей молекуле ДНК одновременно, а лишь на небольшом ее участке, отвечающем определенному гену. При этом часть двойной спирали ДНК раскручивается. Происходит разъединение комплементарных цепей и обнажается короткий участок одной из них, который теперь будет служить матрицей для синтеза иРНК.

Вдоль этой цепи движется фермент РНК-полимераза, соединяя между собой свободные нуклеотиды в растущую цепь иРНК. Полученная иРНК комплементарна участку транскрибируемой цепи ДНК, т. е. порядок нуклеотидов в иРНК строго определен порядком нуклеотидов в ДНК. Так, если в молекуле ДНК имеется нуклеотид, содержащий азотистое основание цитозин, то в РНК — гуанин, и наоборот (Ц-Г, Г-Ц). В ДНК комплементарной парой являются аденин и тимин. Однако в состав нуклеотидов иРНК вместо тимина входит урацил, т. е. тимину ДНК комплементарен урацил РНК (Т-У) (рисунок 8).

Начало и конец синтеза всех типов РНК на матрице ДНК строго фиксирован специальными участками, которые контролируют запуск (*иницирующие*) и остановку синтеза РНК (*терминирующие*). Поэтому в начале каждого гена находится особая специфическая последовательность нуклеотидов, называемая *промотором*. РНК-полимераза распознает промотор, взаимодействует с ним и начинает синтез цепочки иРНК. Синтез длится до тех пор, пока фермент не дойдет до особой последовательности нуклеоти-

дов в молекуле ДНК — *терминатора*. Эта последовательность указывает на то, что синтез иРНК должен прекратиться.

Транскрипция может происходить одновременно на нескольких генах одной хромосомы и на генах, расположенных в разных хромосомах.

На специальных генах синтезируются и два других типа РНК — тРНК и рРНК.

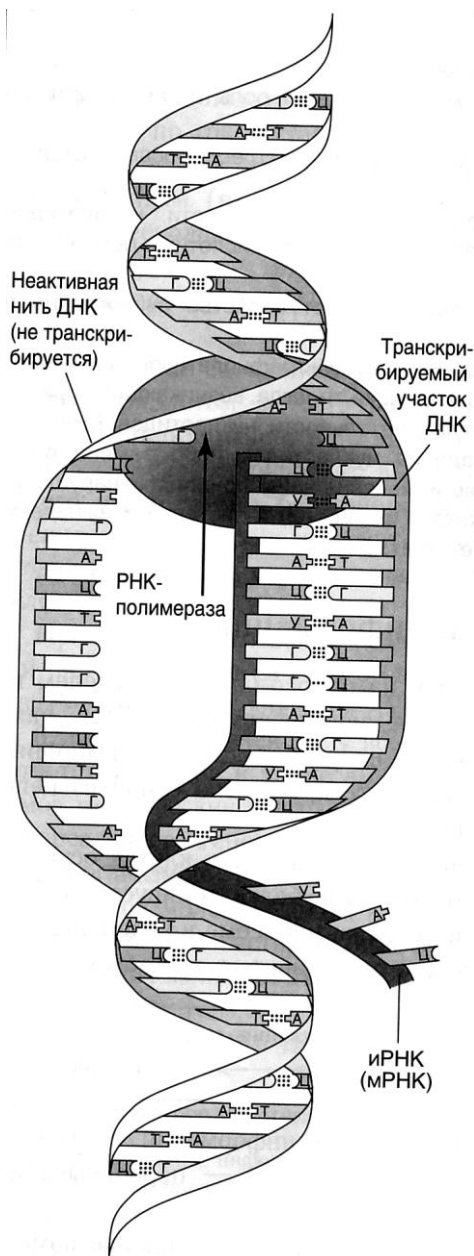


Рисунок 8 — Схема транскрипции

У прокариот синтезированные молекулы иРНК могут сразу же взаимодействовать с рибосомами и участвовать в синтезе белков. У эукариот синтезированная в ядре иРНК отделяется от ДНК, взаимодействует со специальными ядерными белками и через поры в ядерной оболочке поступает в цитоплазму. После того, как образовалось достаточное количество моле-

кул иРНК, транскрибированных с данного участка, транскрипция прекращается. Две цепи ДНК на этом участке вновь соединяются, восстанавливая двойную спираль.

Трансляция. Процесс синтеза белка из аминокислот называется трансляцией. **Трансляция** (от греч. *трансляцио* — передача) — это «перевод» последовательности нуклеотидов молекулы иРНК в последовательность аминокислот молекулы белка. Происходит это с участием рибосом.

Рибосомы — это сферические гранулы диаметром 15–35 нм. Они обнаружены в клетках всех организмов, в том числе прокариотических. Каждая рибосома состоит из двух нуклеопротеидных субъединиц разной величины (большой и малой), формы и химического строения, удерживающихся вместе благодаря присутствию в них ионов магния. Рибосомы состоят из примерно равных количеств белка и рибосомальной РНК (рРНК). Субъединицы рибосом располагаются поодиночке и объединяются в единую структуру только для синтеза белка.

В цитоплазме десятки тысяч рибосом (поодиночке или группами) прикреплены к элементам цитоскелета, поверхности эндоплазматической сети или ядра. Они обнаружены также в митохондриях и хлоропластах. Рибосомы, связанные с цитоскелетом, синтезируют белки, необходимые для нужд самой клетки. Рибосомы, прикрепленные к эндоплазматической сети и оболочке ядра, синтезируют белки, которые предназначены для выведения из клетки.

В процессе синтеза белка рибосома защищает иРНК и синтезируемый белок от разрушающего действия клеточных ферментов. Механизм защитного действия заключается в том, что нить иРНК проходит между большой и малой субъединицами рибосомы, а начальная часть вновь синтезируемого белка находится в каналоподобной структуре большой субъединицы.

На одной молекуле иРНК может размещаться несколько рибосом. Их число определяется длиной иРНК. Комплекс из иРНК и рибосом (от 5–6 до нескольких десятков) называется *полисомой*. Образование полисом повышает эффективность функционирования иРНК за счет того, что одновременно протекает синтез нескольких одинаковых полипептидных цепей. Именно на полисомах происходит синтез белка, или трансляция.

Трансляция начинается со *стартового кодона АУГ*. Отсюда молекула иРНК прерывисто, триплет за триплетом продвигается через рибосомы, что сопровождается ростом полипептидной цепочки. Число аминокислот в таком белке равно числу триплетов иРНК.

Выстраивание аминокислот в соответствии с кодонами иРНК осуществляется на рибосомах при помощи тРНК — главных агентов синтеза белка. Благодаря определенному расположению комплементарных нуклеотидов цепочка тРНК имеет форму, напоминающую лист клевера. При этом тРНК имеет *акцепторный конец*, к которому присоединяется *активированная (богатая энергией) аминокислота*.

Начальная фаза синтеза белка заключается в объединении двух находящихся до этого порознь субчастиц рибосомы на определенном участке иРНК и присоединении к нему первой аминоацил-тРНК. Малая субчастица соединяется с иРНК таким образом, что стартовый кодон (АУГ) располагается в области пептидильного участка (рисунок 10).

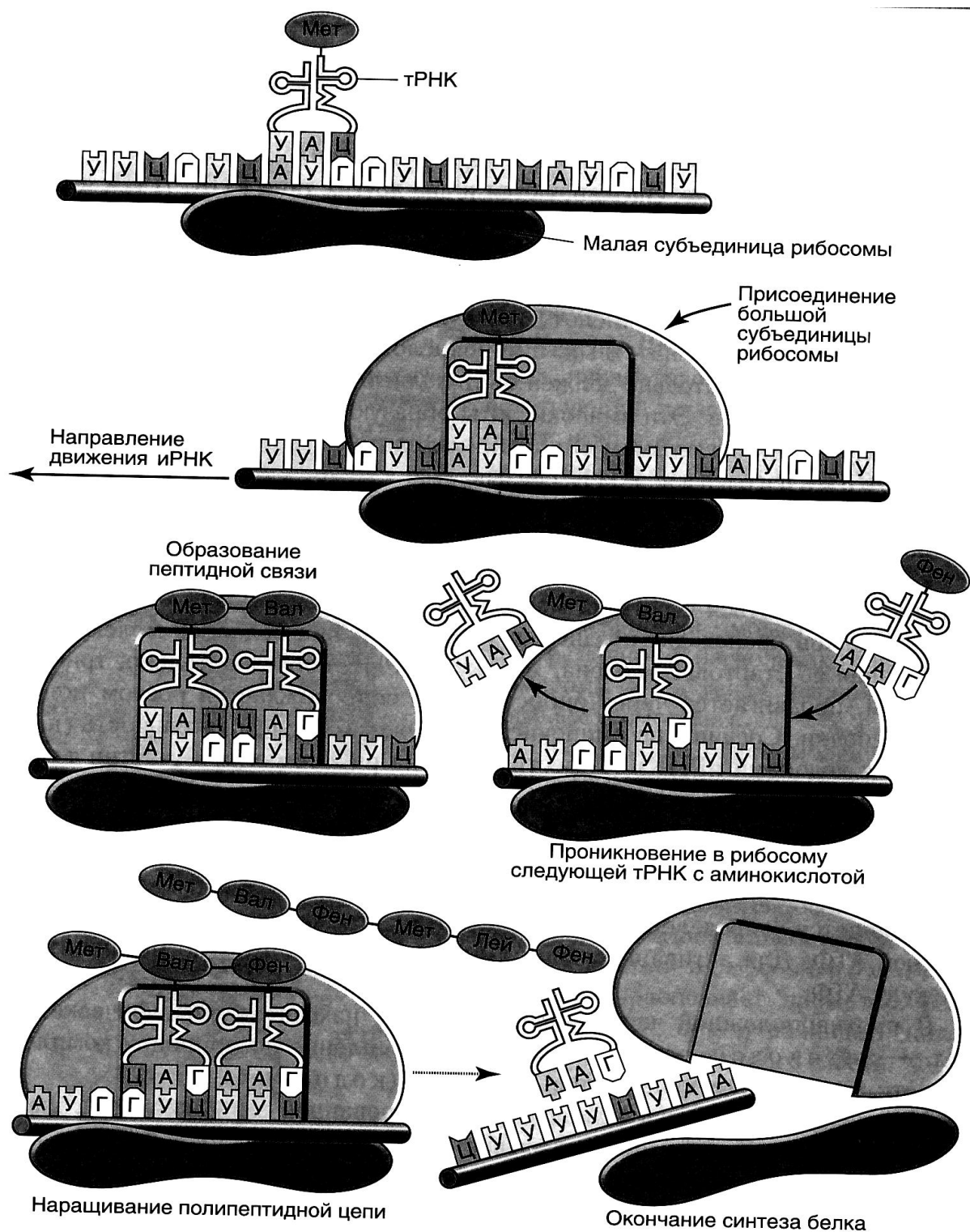


Рисунок 10 — Схема трансляции

Комплекс аминоксил-тРНК с помощью антикодона по принципу комплементарности присоединяется к кодону иРНК на малой субъединице рибосомы. После связывания иРНК с малой субъединицей к ней присоединяется большая субъединица. Затем к той же рибосоме прикрепляется второй комплекс аминоксил-тРНК в соответствии со следующим кодоном, который оказывается в аминоксилном участке. В рибосоме оказываются две аминокислоты, ориентированные по отношению друг к другу таким образом, что карбоксильная группа одной аминокислоты оказывается рядом с аминоксильной группой другой аминокислоты. В результате между ними возникает пептидная связь, после чего первая тРНК освобождается и покидает рибосому.

После этого рибосома продвигается по иРНК на шаг, равный одному кодону. Далее к образовавшемуся дипептиду таким же образом присоединяется третья аминокислота, принесенная в рибосому своей тРНК, и рибосома сдвигается еще на один триплет. Процесс продолжается до тех пор, пока рибосома не дойдет до одного из трех терминирующих кодонов: УАА, УАГ или УГА. После встречи с терминирующим кодоном синтез белка прекращается. К последней аминокислоте пептидной цепи присоединяется вода, и ее карбоксильный конец отделяется от тРНК. Пептидная цепь теряет связь с рибосомой и рибосома распадается на две субъединицы.

Таким образом, последовательность кодонов иРНК определяет последовательность включения аминокислот в цепь белка.

Каждый этап биосинтеза катализируется соответствующими ферментами и снабжается энергией за счет расщепления АТФ.

После завершения синтеза белка иРНК под действием ферментов распадается на отдельные нуклеотиды.

Все описанные реакции происходят непрерывно и идут с большой скоростью: за 1 мин образуется от 50 до 60 тыс. пептидных связей. Синтез одной молекулы белка длится всего 3–4 с. В результате половина белков нашего тела (в среднем в нем около 17 кг белка) обновляется за 80 дней. За всю жизнь человек обновляет свои белки около 200 раз.

Если синтез белка происходил на рибосомах, связанных с шероховатой эндоплазматической сетью, то образовавшаяся полипептидная цепь поступает в каналы ЭПС, по которым транспортируется в комплекс Гольджи. Там происходит созревание белка, т. е. формирование вторичной, третичной и четвертичной структуры, присоединение небелковых компонентов и др. Если синтез белка осуществлялся на рибосомах, свободно расположенных в гиалоплазме, то синтезированная молекула транспортируется к определенным участкам клетки, где и приобретает соответствующую структуру.

Таким образом, генетическая информация, которая содержится в ДНК, в результате процессов транскрипции и трансляции реализуется в клетке в виде белков. Синтез белков обеспечивается взаимодействием всех типов РНК. Транскрипция и трансляция осуществляются с использованием матриц — ДНК и иРНК соответственно. Поэтому, так же как и репликация, они являются *реакциями матричного синтеза*.

ОРГАНИЗАЦИЯ ПОТОКОВ ЭНЕРГИИ, ВЕЩЕСТВА, ИНФОРМАЦИИ В КЛЕТКЕ

Поток вещества

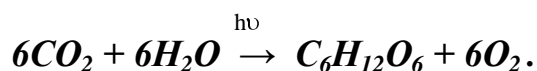
Клетка является открытой саморегулирующейся системой, для которой характерен поток вещества, энергии и информации. На уровне как организма, так и клетки различают внешний и внутренний обмен веществ. Внешний обмен веществ в организме — это обмен с внешней средой, т. е. поступление питательных веществ и выделение шлаков. Внутренний обмен веществ в организме осуществляется путем диссимиляции и ассимиляции. По типу ассимиляции различают гетеротрофные, автотрофные и миксотрофные (автогетеротрофные) организмы; по типу диссимиляции — аэробные и анаэробные.

Структуры живых организмов непостоянны. Они разрушаются и образуются заново. Процесс обновления осуществляется за счет *потока вещества*.

Поток вещества характеризуется пластическим обменом в клетке — фотосинтезом, хемосинтезом, биосинтезом белков и др.

Организмы, способные к самостоятельному синтезу необходимых для них органических соединений за счет энергии света (фотосинтеза), называются **автотрофными** или *автотрофами* (от греч. autos — сам и trophe — пища, питание).

При фотосинтезе в хлоропластах происходит синтез органических веществ из неорганических с использованием солнечной энергии:



К автотрофным фототрофам относятся все зеленые растения и некоторые бактерии (синезеленые, содержащие хлорофилл).

Организмы, способные к самостоятельному синтезу необходимых для них органических соединений за счет энергии, выделившейся при окислении неорганических соединений (хемосинтеза), называются *автотрофным хемотрофами*.

При хемосинтезе наблюдается преобразование энергии окисления неорганических веществ в энергию химических связей органических веществ. Энергия, которая выделяется при окислении сероводорода (серные бактерии), аммиака (нитрифицирующие бактерии), закиси железа (железобактерии), используется для восстановления двуокиси углерода до органических соединений.

Гетеротрофные организмы (от греч. trophe — пища, питание) не могут синтезировать органические вещества из неорганических, поэтому для процессов ассимиляции они нуждаются в поступлении органических веществ извне в виде пищи, получая с ней готовые углеводы, жиры, белки. Характер питания гетеротрофов очень разнообразен. Среди них есть рас-

тительноядные и плотоядные, потребители мертвых растительных тканей и трупов животных, а также виды, питающиеся растворенными органическими соединениями.

При этом они могут быть *сапротрофами* и *паразитами*. К сапротрофам, питающимся органическими веществами мертвых организмов, относится большинство животных, бактерии гниения и брожения, шляпочные и плесневые грибы, дрожжи. Паразиты питаются за счет готовых органических веществ живых организмов. К ним относятся некоторые простейшие, паразитические черви, вирусы, фаги, болезнетворные бактерии, паразитические грибы, цветковые растения-паразиты (подъельник, заразиха, омела, повилыка).

Можно выделить также *автогетеротрофные* организмы, которые в зависимости от условий могут осуществлять фотосинтез либо потреблять готовые органические вещества из окружающей среды (например, протисты хламидомонада, эвглена зеленая).

Большую часть автотрофных организмов составляют фототрофы, роль которых в биосфере трудно переоценить. Достаточно сказать, что процесс фотосинтеза — это основной путь, по которому практически вся энергия входит в нашу биосферу. При этом каждый год в процессе фотосинтеза на Земном шаре образуется более 150 млрд тонн органических веществ, необходимых для всех гетеротрофных организмов. Вклад же хемотрофов в синтез питательных веществ на Земле ничтожен, т. к. имеющиеся в их распоряжении ресурсы химической энергии крайне малы по сравнению с потоком солнечной энергии.

В процессе биосинтеза белка происходит перенос информации о структуре белка с иРНК на синтезируемый полипептид. Этот процесс называется трансляцией. Трансляция происходит в цитоплазме с участием рибосом и включает следующие этапы:

- активация аминокислоты специфическим ферментом (аминоацил тРНК-синтетазой) в присутствии АТФ с образованием аминоациладенилата;
- присоединение активированной аминокислоты к специфической тРНК с высвобождением аденозинмонофосфата (АМФ);
- связывание аминоацил-тРНК (тРНК, нагруженной аминокислотой) с рибосомами;
- включение аминокислот в белок с высвобождением тРНК.

Поток энергии

Энергия — это «способность производить внешнее действие, т. е. совершать работу» (М. Планк). По виду обмена веществом или энергией с окружающей средой различают следующие виды систем: *изолированные* (невозможен обмен веществ и энергии), *адиабатические* (невозможен обмен веществ, но возможен обмен энергией, кроме тепловой), *замкнутые* (невозможен обмен веществ, но возможен обмен энергией в любой форме) и *открытые* (возможен любой обмен веществом и энергией).

Все клетки и живые организмы являются гетерогенными открытыми системами, для которых характерен поток вещества, энергии и информа-

ции. Первичным источником энергии для жизни на Земле является солнечная. Для всех клеток живых организмов органические вещества (углеводы, жиры и частично белки) с их химической энергией служат источником энергии, необходимой для жизнедеятельности организма. *Поток энергии у организмов представлен внутриклеточными механизмами энергообеспечения — фотосинтезом, хемосинтезом, брожением и дыханием.*

Автотрофные организмы сами синтезируют энергию в таком виде, гетеротрофные — получают ее от автотрофных. В процессе фотосинтеза солнечная энергия в растительных клетках сначала превращается в энергию молекул АТФ, НАДФ·Н+Н⁺, а затем в энергию молекул органических веществ. В клетках гетеротрофных организмов поток энергии начинается с поступления готовых органических веществ, а затем обеспечивается процессами брожения и дыхания. Брожение происходит в гиалоплазме в анаэробных условиях. При этом промежуточными продуктами диссимиляции органических веществ являются две молекулы пировиноградной кислоты (C₃H₄O₃) и две молекулы АТФ. Поэтому выход энергии при брожении невелик. Он составляет 40 %, а 60 % рассеивается в виде тепла.

Энергия химических связей, освобождающаяся при распаде органических веществ, не используется в клетках сразу для осуществления работы, а превращается в энергию макроэргических связей молекулы АТФ.

Высокоэнергетичным процессом является дыхание, при котором в матриксе и на мембранах крист митохондрий образуется еще 36 молекул АТФ. В сумме энергия одной молекулы глюкозы трансформируется в энергию 38 молекул АТФ. Энергетический выход на кислородном этапе — 36 АТФ (цикл Кребса — 2 АТФ, электрон-транспортная цепь — 34 АТФ).

Процесс энергетического обмена включает три этапа: подготовительный, бескислородный и кислородный. На первом этапе наблюдается образование мономеров из сложных органических веществ. На втором этапе в цитоплазме клетки происходит более 10 ферментативных реакций. На этом этапе завершается энергетический обмен у анаэробных организмов. При этом из АДФ и фосфатов клетки синтезируется только 2 молекулы АТФ и 2 молекулы пировиноградной кислоты.

У высокоорганизованных животных и человека гликолиз является обязательным дополнительным источником энергии к аэробнозу.

Полное извлечение энергии из промежуточного продукта распада пировиноградной кислоты происходит на кислородном этапе, включающем цикл Кребса в матриксе митохондрий и дыхательную цепь на мембранах крист (10 реакций последовательного превращения трикарбоновых кислот). В цикле Кребса в результате последовательного превращения образуется 2АТФ, 6СО₂, 8НАДФ·Н+Н⁺ и 2ФАДН₂. Последние являются переносчиками водорода к мембранам крист. В дыхательной цепи образуются 34 АТФ и конечный продукт распада — вода. В ходе кислородного этапа энергетический выход составляет 36 АТФ. Общий выход энергии — 38 молекул АТФ из одной молекулы глюкозы (рисунок 11).

ЗАДАЧИ

1. Считая, что средняя молекулярная масса аминокислоты около 110, а нуклеотида — около 300, определите, что тяжелее: белок или ген?

2. Фрагмент молекулы миоглобина имеет следующие аминокислоты: валин – аланин – глутаминовая кислота – тирозин – серин – глутамин. Определите один из возможных вариантов строения фрагмента цепочки ДНК, кодирующей эту последовательность аминокислот.

3. Какая последовательность аминокислот кодируется такой последовательностью нуклеотидов ДНК: ЦЦТ–АГГ–ТГА–АЦЦ–АГГ?

4. У человека, больного цистинурией (повышенное содержание аминокислот в моче), с мочой выделяются аминокислоты, которым соответствуют следующие триплеты и-РНК: УЦУ, УГУ, ГЦУ, ГГУ, ЦАГ, ЦГУ, ААА. Выделение каких аминокислот с мочой характерно для больных цистинурией?

5. Участок молекулы ДНК, кодирующий часть полипептида, имеет следующее строение: ААА–ЦГА–ААА–ТАЦ–ЦАА–ААТ–АТА. Определите последовательность аминокислот в полипептиде.

6. Участок молекулы ДНК, кодирующий полипептид, имеет в норме следующий порядок азотистых оснований: ААЦ–ЦЦА–ААА–ТАЦ–ТТА–ТАЦ–АА... Во время репликации третий слева цитозин выпал из цепи. Определите структуру полипептидной цепи, кодируемой данным участком ДНК, в норме и после выпадения цитозина.

7. Дан участок ДНК: ГТТ–ЦТА–ААА–ГГГ–ЦЦЦ...

а) Какова структура закодированного белка?

б) Какова будет структура белка, если в этой цепи ДНК под влиянием облучения между 8 и 9 нуклеотидами встанет нуклеотид Т?

в) Какова будет структура белка, если под воздействием химических мутагенов (алкоголя) 8-й нуклеотид ДНК будет замещен Ц? К каким биологическим последствиям это может привести?

8. Одна из цепочек молекул ДНК имеет следующий порядок нуклеотидов: ЦЦГ–ТАЦ–ЦТА–ГТЦ... Определите последовательность аминокислот в соответствующем полипептиде, если известно, что иРНК синтезируется на комплементарной данной цепи ДНК.

9. Участок одной нити ДНК имеет такую структуру: ТАТ–ТЦТ–ТТТ–ТГТ–ГГГ... Укажите структуру соответствующей части молекулы белка, синтезированного при участии комплементарной цепи. Как изменится первичная структура фрагмента белка, если выпадает 2-й нуклеотид?

10. Участок одной цепи ДНК имеет следующую последовательность нуклеотидов: ГГА–АЦА–ЦТА–ГТТ–ААА–АТА–ЦГ. Какова последовательность аминокислот в полипептиде, соответствующем этой генетической информации?

11. Одна из двух цепей белка инсулина (β -цепь) начинается со следующих аминокислот: фен–вал–асн–глу–гис–лей. Напишите последова-

тельность нуклеотидов в начале участка молекулы ДНК, хранящего информацию об этом белке.

12. Определите последовательность нуклеотидов в обеих цепях фрагмента молекулы ДНК, если кодируемый белок имеет следующую последовательность аминокислот: илей–глю–три–ала–гис–про–мет...

13. Следующие аминокислоты последовательно составляют полипептид: асп–гли–фен–про–тре... Определите структуру участка ДНК, кодирующего данный полипептид.

14. Часть молекулы белка имеет такую последовательность аминокислот: сер–ала–тир–лей–асп... Какие т-РНК (с какими антикодонами) участвуют в синтезе этого белка?

15. Участок белка вируса табачной мозаики состоит из следующих аминокислот: серин–глицин–серин–изолейцин–треонин–пролин–серин. В результате воздействия на иРНК азотистой кислотой цитозин РНК превращается в гуанин. Определите изменения в строении белка вируса после данного воздействия.

16. Сколько нуклеотидов содержит ген (обе цепи ДНК), в котором запрограммирован белок инсулин из 51 аминокислоты?

17. Дан участок ДНК: ГТТ-ЦТА-ААА-ГГГ-ЦЦЦ...

а) Какова структура закодированного белка?

б) Какова будет структура белка, если в этой цепи ДНК под влиянием облучения между 8 и 9 нуклеотидами встанет нуклеотид Т?

18. Дана цепь молекулы ДНК: АТГ-ААА-ГЦА-ТАТ-АТТ-ГЦЦ-АА... Найдите количество (в процентах) Ц нуклеотидов в молекуле иРНК.

19. Одна из цепей ДНК имеет молекулярную массу 29700. Определите количество мономеров белка, запрограммированных в этой ДНК, если известно, что молекулярная масса нуклеотида 300.

20. В процессе диссимиляции произошло расщепление 7 моль глюкозы, из которых полному (кислородному) расщеплению подверглось только 2 моль. Определите:

а) Сколько молей молочной кислоты и углекислого газа при этом образовано?

б) Сколько молей АТФ при этом синтезировано?

в) Сколько энергии и в какой форме аккумулировано в этих молекулах АТФ?

21. Мышцы ног при беге со средней скоростью за 1 мин расходуют около 24 кДж энергии. Определите:

а) Сколько всего граммов глюкозы израсходуют мышцы ног за 25 мин бега, если кислород доставляется кровью к мышцам в достаточном количестве?

б) Накапится ли в мышцах молочная кислота?

22. При выполнении вольных упражнений мышцы обеих рук за 1 мин расходуют 12 кДж энергии. Определите:

а) Сколько всего граммов глюкозы израсходуют мышцы рук за 10 мин, если кислород доставляется кровью к мышцам в достаточном количестве?

б) Накопится ли в мышцах молочная кислота?

23. У человека со слабым, нетренированным сердцем кислорода, доставляемого к мышцам во время бега, хватает на окисление лишь половины образующейся молочной кислоты. Объясните:

а) Как будет проходить у него расхождение глюкозы и накопление молочной кислоты в мышцах при беге с такой же скоростью в течение 25 мин (смотреть условие задачи 21).

б) К чему это приведет?

СООТВЕТСТВИЕ КОДОНОВ и-РНК АМИНОКИСЛОТАМ

Первый нуклеотид триплета берут из левого вертикального ряда, второй — из горизонтального, третий — из правого вертикального.

Второе азотистое основание

	У	Ц	А	Г		
Первое азотистое основание	У	фен	сер	тир	цис	У
		фен	сер	тир	цис	Ц
		лей	сер	<u>стоп</u>	<u>стоп</u>	А
		лей	сер	<u>стоп</u>	три	Г
	Ц	лей	про	гис	арг	У
		лей	про	гис	арг	Ц
		лей	про	гли	арг	А
		лей	про	гли	арг	Г
	А	иле	тре	асп	сер	У
		иле	тре	асп	сер	Ц
		иле	тре	лиз	арг	А
		мет	тре	лиз	арг	Г
	Г	вал	ала	асп	гли	У
		вал	ала	асп	гли	Ц
		вал	ала	глу	гли	А
		вал	ала	глу	гли	Г
					Третье азотистое основание	

ЛИТЕРАТУРА

1. *Богданова, Т. Л.* Биология. Справочник для старшеклассников и поступающих в вузы / Т. Л. Богданова, Е. А. Солодова. — М.: АСТ-пресс, 2001.
2. *Каминская, Э. А.* Сборник задач по генетике / Э. А. Каминская. — Минск: Выш. шк., 1982.
3. *Лисов, Н. Д.* Общая биология, 10 класс / Н. Д. Лисов, Л. В. Камлюк. — Минск: Ураджай, 2001. — С. 56–78.
4. *Лемеза, Н. А.* Учебное пособие по биологии для поступающих в вузы / Н. А. Лемеза, Л. В. Камлюк, Н. Д. Лисов. — Минск: Юнипресс, 2005.
5. *Болгова, И. В.* Сборник задач по общей биологии для поступающих в вузы / И. В. Болгова. — М.: Оникс 21 век. Мир и образование, 2005.
6. *Общая биологи, 10 класс / Н. Д. Лисов [и др.].* — Минск: Народная асвета, 2009. — С. 90–108.
7. *Общая биология, 10 класс / Н. Д. Лисов [и др.].* — Минск: Народная асвета, 2014. — С. 98–120.
8. *Бекиш, О.-Я. Л.* Медицинская биология / О.-Я. Л. Бекиш. — Минск: Ураджай, 2000. — С. 50–59.
9. *Гаврилова, Л. П.* Медицинская биология и общая генетика / Л. П. Гаврилова, В. В. Потенко, Е. М. Бутенкова. — Гомель: ГомГМУ, 2012. — С. 37–40.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Обмен веществ и преобразование энергии в организме	3
Энергетический обмен.....	4
Брожение	8
Фотосинтез.....	11
Хемосинтез.....	17
Хранение наследственной информации. Генетический код	18
Реализация наследственной информации. Синтез белка на рибосомах.....	20
Организация потоков энергии, вещества, информации в клетке.....	26
Задачи	30
Литература	33

Учебное издание

Боброва Светлана Николаевна
Овсепян Светлана Васильевна

**ОРГАНИЗАЦИЯ
ПОТОКОВ ВЕЩЕСТВА,
ЭНЕРГИИ, ИНФОРМАЦИИ**

**Учебно-методическое пособие
для слушателей подготовительных курсов
факультета по подготовке специалистов для зарубежных стран
и подготовительного отделения
факультета довузовской подготовки медицинских вузов**

Редактор *Т. М. Кожемякина*
Компьютерная верстка *Ж. И. Цырыкова*

Подписано в печать 05.05.2015.
Формат 60×84¹/₁₆. Бумага офсетная 80 г/м². Гарнитура «Гаймс».
Усл. печ. л. 2,09. Уч.-изд. л. 2,29. Тираж 95 экз. Заказ № 109.

Издатель и полиграфическое исполнение:
учреждение образования «Гомельский государственный медицинский университет».
Свидетельство о государственной регистрации издателя,
изготовителя, распространителя печатных изданий № 1/46 от 03.10.2013.
Ул. Ланге, 5, 246000, Гомель