

Лекция №6

НУКЛЕИНОВЫЕ КИСЛОТЫ. РНК И ДНК. СТРОЕНИЕ ГЕНОВ, ПРИНЦИПЫ ГЕННОЙ ИНЖЕНЕРИИ. БИОСИНТЕЗ

Биологические полимеры — нуклеиновые кислоты

Несмотря на относительно невысокое по сравнению с белками содержание, нуклеиновые кислоты играют центральную роль в клетке, поскольку их функции связаны с хранением и передачей генетической информации. **Нуклеиновые кислоты - это линейные нерегулярные полимеры.** Мономерами РНК служат рибонуклеотиды, а мономерами ДНК - дезоксирибонуклеотиды. Каждый нуклеотид (рибонуклеотид или дезоксирибонуклеотид) состоит из трех частей: 1) остатка фосфорной кислоты, 2) пятиуглеродного моносахарида в циклической форме - D-рибозы (в случае РНК) или 2-дезокси-D-рибозы (в случае ДНК), 3) азотистого основания. В состав РНК входят только четыре типа рибонуклеотидов, азотистые основания которых представлены аденином (А), урацилом (U), гуанином (G) и цитозином (C), а в состав ДНК - дезоксирибонуклеотиды четырех видов, азотистыми основаниями которых являются аденин (А), тимин (Т), гуанин (G) и цитозин (C). Последовательно расположенные нуклеотиды в молекулах ДНК и РНК ковалентно связаны между собой в цепь через остаток фосфорной кислоты: 5'-гидроксильная группа моносахарида одного нуклеотида присоединена к 3'-гидроксильной группе моносахарида соседнего нуклеотида с помощью ФОСФОДИЭФИРНОЙ СВЯЗИ (рис. 4).

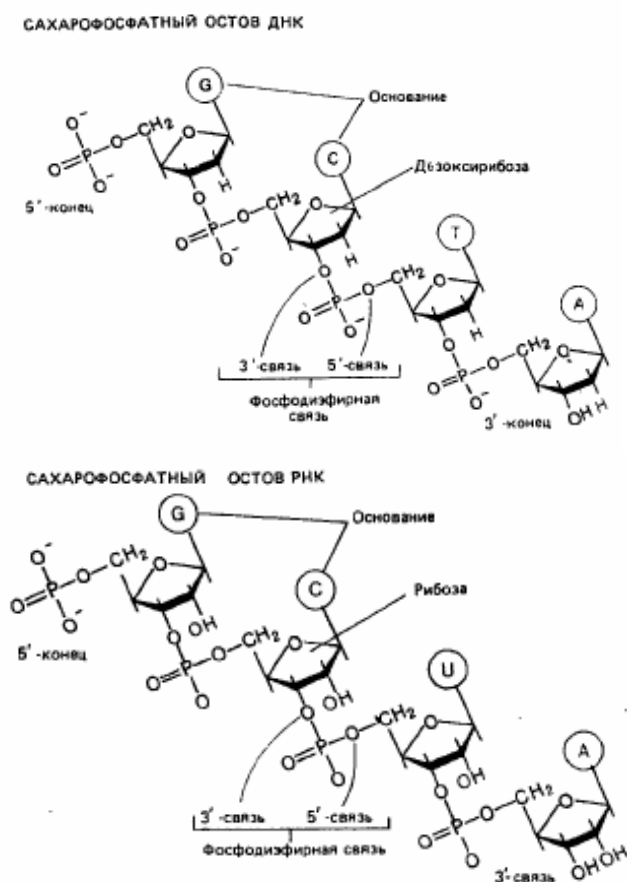


Рис. 4

Значение нуклеиновых кислот в клетке очень велико. Особенности их химического строения обеспечивают возможность хранения, переноса и передачи по наследству дочерним клеткам информации о структуре белковых молекул, которые синтезируются в каждой ткани на определенном этапе индивидуального развития.

Поскольку большинство свойств и признаков обусловлено белками, то понятно, что стабильность нуклеиновых кислот – важнейшее условие нормальной жизнедеятельности клеток и целых организмов. Любые изменения строения нуклеиновых кислот влекут за собой изменения структуры клеток или активности физиологических процессов в них, влияя таким образом на жизнеспособность.

Изучение структуры нуклеиновых кислот, которую впервые установили американский биолог Дж. Уотсон и английский физик Ф. Крик, имеет исключительно важное значение для понимания наследования признаков у организмов и закономерностей функционирования как отдельных клеток, так и клеточных систем – тканей и органов.

Существуют два типа нуклеиновых кислот: ДНК и РНК.

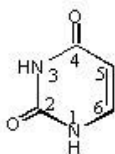
Дезоксирибонуклеиновая кислота – ДНК

ДНК – биологический полимер, состоящий из двух полинуклеотидных цепей, соединенных друг с другом. ДНК – полимер с очень большой молекулярной массой.

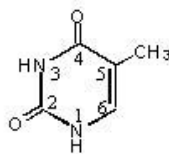
Мономеры, составляющие каждую из цепей ДНК, представляют собой сложные органические соединения, включающие **азотистые основания**: *аденин (А)* или *тимин (Т)*, *цитозин (Ц)* или *гуанин (Г)*, **пятиатомный сахар** – пентозу – *дезоксирибозу*, по имени которой получила название и сама ДНК, а также **остаток фосфорной кислоты**. Эти соединения носят название *нуклеотидов* (рис. 5). В одну молекулу может входить 10^8 и более нуклеотидов.

АЗОТИСТЫЕ ОСНОВАНИЯ

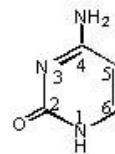
ПИРИМИДИНОВЫЕ



Урацил
U

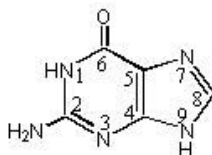


Тимин
T

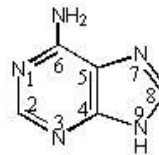


Цитозин
C

ПУРИНОВЫЕ



Гуанин
G



Аденин
A

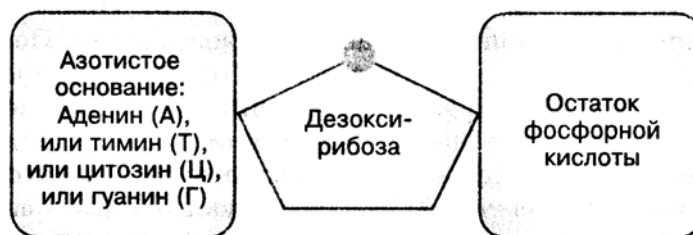


Рис. 5. Схема строения нуклеотида

Нуклеотиды – это мономеры нуклеиновых кислот. Нуклеиновые кислоты в эукариотических клетках находятся в ядре. Они есть у всех живых организмов (у тех, у кого нет ядра, нуклеиновые кислоты все равно есть – они находятся в центре клетки у бактерий и образуют нуклеоиды).

В каждой цепи нуклеотиды соединяются между собой путем образования фосфодиэфирных связей между дезоксирибозой одного и остатком фосфорной кислоты последующего нуклеотида. Объединяются две цепи в единую молекулу при помощи водородных связей, возникающих между азотистыми основаниями, входящими в состав нуклеотидов, образующих разные цепи. Количество таких связей между разными азотистыми основаниями неодинаковое, и вследствие этого они могут соединяться только попарно: азотистое основание А одной цепи полинуклеотидов всегда связано с Т другой цепи, а Г – тремя водородными связями с азотистым основанием Ц противоположной полинуклеотидной цепочки. Такая способность к избирательному соединению нуклеотидов, в результате чего формируются пары А–Т и Г–Ц, называется **комплементарностью** (рис. 6). Если известна последовательность оснований в одной цепи (например, Т–Ц–А–Т–Г), то благодаря принципу комплементарности (дополнительности) станет известна и последовательность оснований противоположной цепи (А–Г–Т–А–Ц).

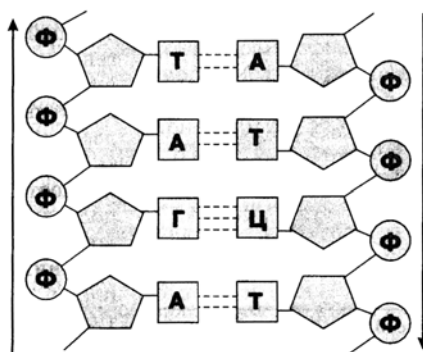


Рис. 6. Комплементарное соединение полинуклеотидных цепей ДНК

Когда образуется цепочка нуклеотидов, связь осуществляется между пятым углеродом одной и третьим углеродом другой фосфорной кислоты. Поэтому в цепочке нуклеиновых кислот выделяют разные неравнозначные концы, относительно которых молекула не симметрична (рис. 7).

Цепи нуклеотидов образуют правозакрученные объемные спирали по 10 пар оснований в каждом витке. При соединении друг с другом против 5'-конца одной нити находится 3'-конец другой нити. Последовательность соединения нуклеотидов одной цепи противоположна таковой в другой, т.е. цепи, составляющие одну молекулу ДНК, разнонаправленны, или антипараллельны. Сахарофосфатные группировки нуклеотидов находятся снаружи, а комплементарно связанные нуклеотиды – внутри. Цепи закручиваются вокруг друг друга, а также вокруг общей оси и образуют двойную спираль (рис. 8). Такая структура молекулы поддерживается в основном водородными связями.

При соединении с определенными белками – гистонами — степень спирализации молекулы повышается. Молекула утолщается и укорачивается (рис.9). В дальнейшем спирализация достигает максимума, возникает спираль еще более высокого уровня – *суперспираль*. При этом молекула становится различима в световой микроскоп как вытянутое, хорошо окрашиваемое тельце — **хромосома**.

У человека в гаплоидном геноме, то есть единичном наборе хромосом, 3 млрд. пар нуклеотидов, и их длина составляет 1,7 м, а клетка гораздо меньше, как вы догадываетесь. Для того, чтобы ДНК смогла в ней поместиться, она достаточно плотно свернута, и в эукариотической клетке свернуться ей помогают белки – гистоны. Гистоны имеют положительный заряд, а так как ДНК заряжена отрицательно, то гистоны обладают

сродством к ДНК. Упакованная при помощи гистонов ДНК имеет вид бусин, называемых нуклеосомами. 200 пар нуклеотидов идет на одну нуклеосому, 146 пар накручиваются на гистоны, а остальные 54 висят в виде линкерных (связывающих нуклеосомы) ДНК. Это первый уровень компактизации ДНК. В хромосомах ДНК свернута еще несколько раз для того, чтобы образовались компактные структуры. **Недавно расшифрован геном человека, то есть полная последовательность нуклеотидов всех молекул ДНК.**

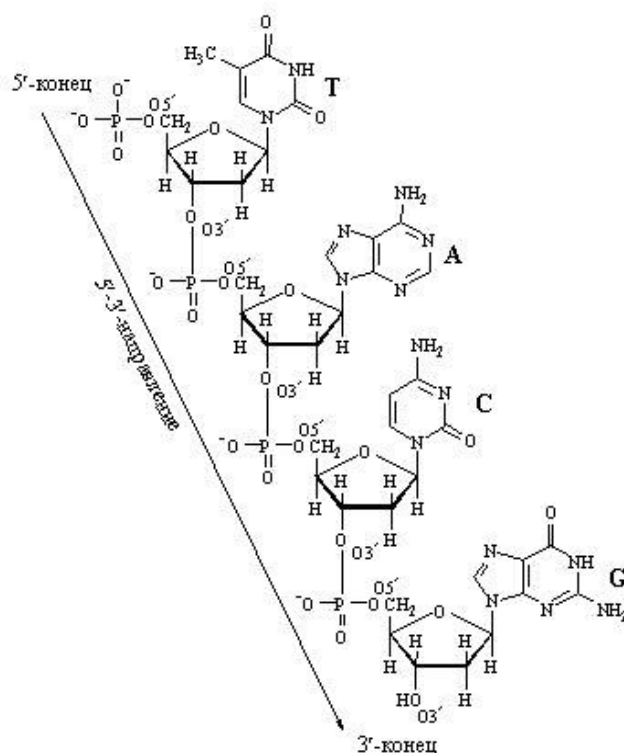


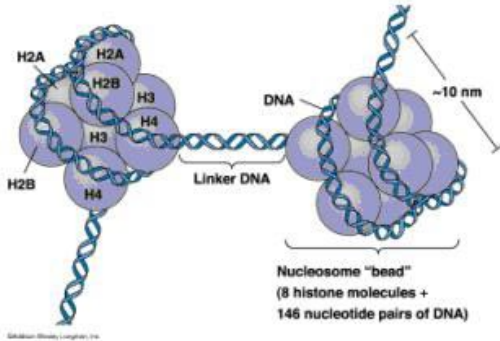
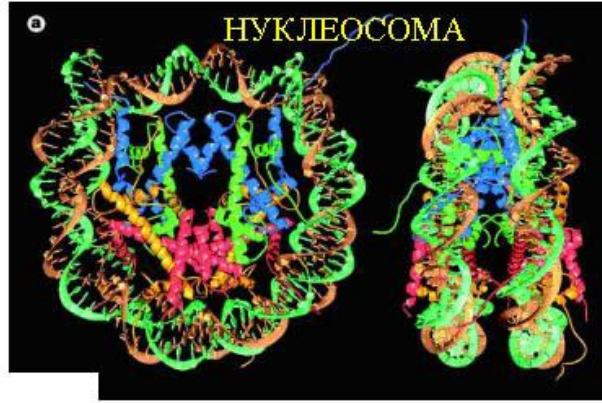
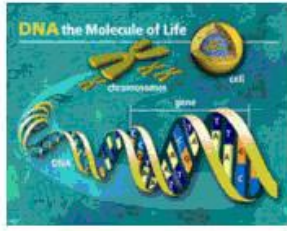
Рис. 7

Функции ДНК. Дезоксирибонуклеиновая кислота выполняет чрезвычайно важные функции, необходимые как для поддержания, так и для воспроизведения жизни.

Во-первых, — это **хранение наследственной информации**, которая заключена в последовательности **нуклеотидов** одной из ее цепей. Наименьшей единицей генетической информации после нуклеотида являются три последовательно расположенных нуклеотида — **триплет**. Последовательность триплетов в полинуклеотидной цепи определяет последовательность аминокислот в белковой молекуле. **Расположенные друг за другом триплеты, обуславливающие структуру одной полипептидной цепи, представляют собой ген.**

Вторая функция ДНК — **передача наследственной информации** из поколения в поколение. Она **осуществляется благодаря редупликации материнской молекулы** и последующего распределения дочерних молекул между клетками-потомками. Именно двухцепочечная структура молекул ДНК определяет возможность образования абсолютно идентичных дочерних молекул при редупликации.

Наконец, ДНК участвует в качестве **матрицы в процессе передачи генетической информации из ядра в цитоплазму к месту синтеза белка**. При этом на одной из ее цепей по принципу комплементарности из нуклеотидов окружающей молекулы среды синтезируется молекула информационной РНК.



Each nucleosome consists of eight histone molecules (two each of histones H2A, H2B, H3, and H4) associated with 146 nucleotide pairs of DNA and a stretch of linker DNA about 50 nucleotide pairs in length. The diameter of the nucleosome "bead," or core particle, is about 10 nm. Histone H1 (not shown) is thought to bind to the linker DNA and facilitate the packing of nucleosomes into 30-nm fibers.

http://www.nmun.ca/biology/desmid/brian/BIOL2060_W2003/CellBio116/1620.JPG

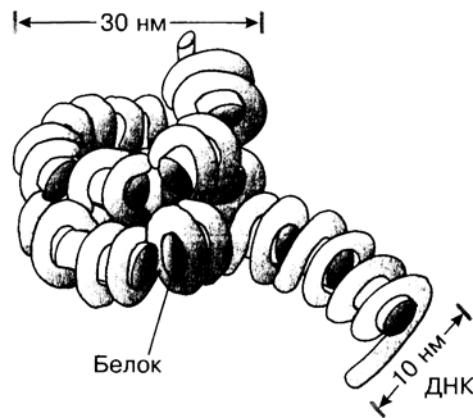
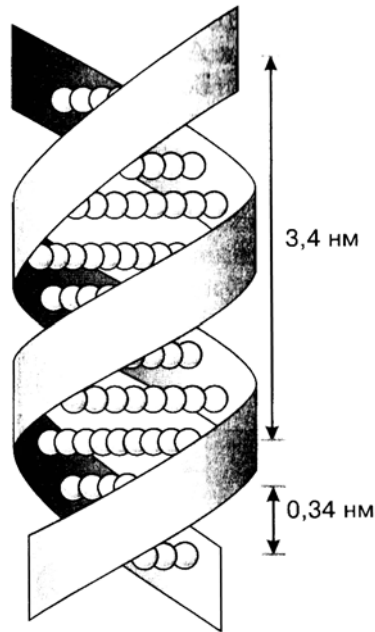


Рис. 8. Двойная спираль Уотсона и Крика

Рис. 9. Образование суперспирали ДНК

Рибонуклеиновая кислота – РНК

РНК, так же как ДНК, представляет собой полимер, мономерами которого являются нуклеотиды. Азотистые основания трех нуклеотидов те же самые, что входят в состав ДНК (аденин, гуанин, цитозин), четвертое – *урацил* – присутствует в молекуле РНК вместо тимина. Нуклеотиды РНК отличаются от нуклеотидов ДНК и по строению входящего в их состав углевода: они включают другую пентозу – *рибозу* (вместо дезоксирибозы). В цепочку РНК нуклеотиды соединяются путем образования связей между рибозой одного нуклеотида и остатком фосфорной кислоты другого.

РНК переносят информацию о последовательности аминокислот в белках, т.е. о структуре белков, от хромосом к месту их синтеза, и участвуют в синтезе белков. По структуре различают *двухцепочечные* и *одноцепочечные* РНК. Двухцепочечные РНК являются хранителями генетической информации у ряда вирусов, т.е. выполняют у них функции хромосом.

В отличие от ДНК, молекулы РНК присутствуют в клетке в виде множества копий и «живут» сравнительно недолго, распадаясь после выполнения своей функции. Поэтому спонтанный гидролиз цитозина не так опасен для РНК, как для ДНК. Предполагается, что первыми полинуклеотидами, появившимися в ходе биологической эволюции, были молекулы РНК, и лишь на какой-то более поздней стадии эволюционного процесса для целей долговременного хранения генетической информации появились химически более стабильные молекулы ДНК, и, следовательно, замена урацила на тимин в ДНК, возможно, была одним из эволюционных приобретений организмов, стабилизирующих их геном.

Существует несколько видов одноцепочечных РНК. Их названия обусловлены выполняемой функцией или местом нахождения в клетке.

Большую часть цитоплазмы (до 80–90%) составляет **рибосомальная РНК** (р-РНК), содержащаяся в рибосомах. Молекулы р-РНК относительно невелики и состоят из 3–5 тыс. нуклеотидов. РНК зависит от длины участка ДНК, на котором они были синтезированы.

Молекулы **информационной РНК** (и-РНК) могут состоять из 300 – 30000 нуклеотидов.

Транспортные РНК (т-РНК) включают 76–85 нуклеотидов и выполняют несколько функций (рис. 10). Они доставляют аминокислоты к месту синтеза белка, «узнают» (по принципу комплементарности) триплет и-РНК, соответствующий переносимой аминокислоте, осуществляют точную ориентацию аминокислоты на рибосоме. За счет спаривания комплементарных участков молекулы тРНК образуется три "стебля" с петлями на концах и один "стебель", образованный 5'- и 3'-концами молекулы тРНК (иногда образуется еще дополнительная пятая петля). Изображение этой структуры похоже на крест или клеверный лист. "Голова" на этом листе представлена антикодонной петлей, здесь находится антикодон – те три нуклеотида, которые комплементарно взаимодействуют с кодоном в мРНК. Противоположный антикодонной петле стебель, образованный концами молекулы, называется **акцепторным стеблем** – сюда присоединяется соответствующая аминокислота. Распознают подходящие друг другу тРНК и аминокислоты специальные ферменты, называемые **аминоацил-тРНК синтетазами**. Для каждой аминокислоты есть своя **аминоацил-тРНК синтетаза**.



Рис. 10. Структура т-РНК: А, Б, В, Г – участки комплементарного соединения, Д – участок соединения с аминокислотой, Е – антикодон

СТРОЕНИЕ ГЕНОВ, ПРИНЦИПЫ ГЕННОЙ ИНЖЕНЕРИИ

Генетический код. Огромное количество отобранных эволюцией уникальных сочетаний аминокислот воспроизводится путем синтеза нуклеиновых кислот с такой последовательностью азотистых оснований, которая соответствует последовательности аминокислот в белках. **Каждой аминокислоте в полипептидной цепочке соответствует комбинация из трех нуклеотидов — триплет.** Так, аминокислоте цистеину соответствует триплет АДА, валину — ДАЛ, лизину — ТТТ и т.д. Таким образом, **определенные сочетания нуклеотидов и последовательность их расположения в молекуле ДНК являются кодом, несущим информацию о структуре белка** (рис. 9).

		Второе основание						
		А	Г	Т	Ц			
Первое основание	А	ААА	АГА	АТА	АЦА	А		
		ААГ	АГГ	АТГ	АЦГ			Г
		ААТ	АГТ	АТТ	АЦТ			Т
		ААЦ	АГЦ	АТЦ	АЦЦ			Ц
	Г	ГАА	ГГА	ГТА	ГЦА	А		
		ГАГ	ГГГ	ГТГ	ГЦГ			Г
		ГАТ	ГГТ	ГТТ	ГЦТ			Т
		ГАЦ	ГГЦ	ГТЦ	ГЦЦ			Ц
	Т	ТАА	ТГА	ТТА	ТЦА	А		
		ТАГ	ТГГ	ТТГ	ТЦГ			Г
		ТАТ	ТГТ	ТТТ	ТЦТ			Т
		ТАЦ	ТГЦ	ТТЦ	ТЦЦ			Ц
Ц	ЦАА	ЦГА	ЦТА	ЦЦА	А			
	ЦАГ	ЦГГ	ЦТГ	ЦЦГ			Г	
	ЦАТ	ЦГТ	ЦТТ	ЦЦТ			Т	
	ЦАЦ	ЦГЦ	ЦТЦ	ЦЦЦ			Ц	

Фен (ААА, ААГ)

Лей (ААТ, ААЦ)

Илей (ТАА, ТАГ, ТАТ, ТАЦ)

Вал (ЦАА, ЦАГ, ЦАТ, ЦАЦ)

Сер (АГА, АГГ, АГТ, АГЦ)

Про (ГГА, ГГГ, ГГТ, ГГЦ)

Тре (ТГА, ТГГ, ТГТ, ТГЦ)

Ала (ЦГА, ЦГГ, ЦГТ, ЦГЦ)

Тир (АТА, АТГ, АТТ, АТЦ)

Стоп (АТТ, АТЦ)

Асн (ТТА, ТТГ, ТТТ, ТТЦ)

Лиз (ТТТ, ТТЦ)

Асн (ЦТА, ЦТГ, ЦТТ, ЦТЦ)

Глу (ЦТТ, ЦТЦ)

Цис (АЦА, АЦГ, АЦТ, АЦЦ)

Стоп (АЦТ, АЦЦ)

Арг (ГЦА, ГЦГ, ГЦТ, ГЦЦ)

Сер (ТЦА, ТЦГ, ТЦТ, ТЦЦ)

Арг (ТЦТ, ТЦЦ)

Глу (ЦЦА, ЦЦГ, ЦЦТ, ЦЦЦ)

Рис. 9. Генетический код в последовательности кодонов ДНК. Стоп — конец синтеза определенного белка

"Словарь" для перевода с языка нуклеотидов на язык аминокислот называется **генетическим кодом**. Аминокислот - 20, нуклеотидов – 4, число комбинаций из 4 по 2 = 16, а аминокислот 20, поэтому кодировка не двух, а трехбуквенная, **каждая тройка называется кодоном**. Каждая аминокислота кодируется тремя нуклеотидами в и-РНК (которая, в свою очередь, кодируется ДНК).

Таблица генетического кода была составлена в 60-х годах. Начало положили Ниренберг и Маттеи. Они пытались производить в пробирке эксперименты на клеточных экстрактах, к которым были добавлены искусственные матрицы РНК. В то время считалось, что кодоны, состоящие из одного нуклеотида (UUU или AAA) не кодируют аминокислоты. Ниренберг и Маттеи использовали полиУ-РНК (то есть состоящую только

из урацилов) в качестве контроля в своих опытах, но именно в этой пробирке прошла реакция. Стало ясно, что кодон UUU кодирует аминокислоту фенилаланин. Затем была составлена таблица генетического кода (рис. 9).

Генетический код универсален. Он один и тот же у всех микроорганизмов. Есть небольшие отличия в генетическом коде митохондрий.

Генетическим кодом называется таблица соответствия кодонов аминокислотам.

Код включает все возможные сочетания трех (из четырех) азотистых оснований. Таких сочетаний может быть $4^3=64$, в то время как кодируется только 20 аминокислот. В результате некоторые аминокислоты кодируются несколькими триплетами. Эта избыточность кода имеет большое значение для повышения надежности передачи генетической информации. Например, аминокислоте аргинину могут соответствовать триплеты ГЦА, ГЦТ, ГЦЦ и т.д. Понятно, что случайная замена третьего нуклеотида в этих триплетах никак не отразится на структуре синтезируемого белка.

В каждой молекуле ДНК, состоящей из миллионов нуклеотидных пар, записана информация о последовательности аминокислот в сотнях различных белков. Каким образом участок молекулы ДНК, несущий информацию о структуре одного белка, отграничивается от других участков? Существуют триплеты, функцией которых является запуск синтеза полинуклеотидной цепочки, и триплеты, которые прекращают синтез, т.е. служат «знаками препинания». **Одно из основных свойств кода – его специфичность.** Нет случаев, когда один и тот же триплет соответствовал бы более чем одной аминокислоте. **Код универсален для всех живых организмов и никогда не перекрывается, т.е. кодирующие аминокислоты триплеты – кодоны ДНК транскрибируются – передаются в виде информации триплетов (кодонов) и-РНК – всегда целиком.** При считывании информации с молекулы ДНК невозможно использование азотистого основания одного триплета в комбинации с основаниями другого триплета.

БИОСИНТЕЗ

Синтез ДНК называется **репликацией** или **редупликацией** (удвоением), синтез РНК – **транскрипцией** (переписывание с ДНК), синтез белка, проводимый рибосомой на информационной РНК, называется **трансляцией**, то есть переводом с языка нуклеотидов на язык аминокислот.

Репликация ДНК. Молекула ДНК, состоящая из двух спиралей, удваивается при делении клетки. Удвоение ДНК основано на том, что при расплетении нитей к каждой нити можно достроить комплементарную копию, таким образом, получая две нити молекулы ДНК, копирующие исходную (рис. 1).

Здесь также указан один из параметров ДНК, это шаг спирали, на каждый полный виток приходится 10 пар оснований, заметим, что один шаг – это не между ближайшими выступами, а через один, так как у ДНК есть малая бороздка и большая. Через большую бороздку с ДНК взаимодействуют белки, которые распознают последовательность нуклеотидов. Шаг спирали равен 34 ангстрем, а диаметр двойной спирали – 20 ангстрем.

Репликацию ДНК осуществляет фермент ДНК-полимераза. Этот фермент способен наращивать ДНК только на 3'-конце. Вы помните, что молекула ДНК антипараллельна, разные ее концы называются 3'-конец и 5'-конец. При синтезе новых копий на каждой нити одна новая нить удлиняется в направлении от 5' к 3', а другая – в направлении от 3' к 5-концу. Однако 5' конец ДНК-полимераза наращивать не может. Поэтому синтез одной нити ДНК, той, которая растет в "удобном" для фермента направлении, идет непрерывно (она называется лидирующая или ведущая нить), а синтез другой нити осуществляется короткими фрагментами (они называются фрагментами Оказаки в честь ученого, который их описал). Потом эти фрагменты сшиваются, и такая нить называется запаздывающей, в целом репликация этой нити идет медленней. Структура, которая образуется во время репликации, называется репликативной вилкой (рис. 2).

Диаметр двойной спирали ДНК 20 ангстрем

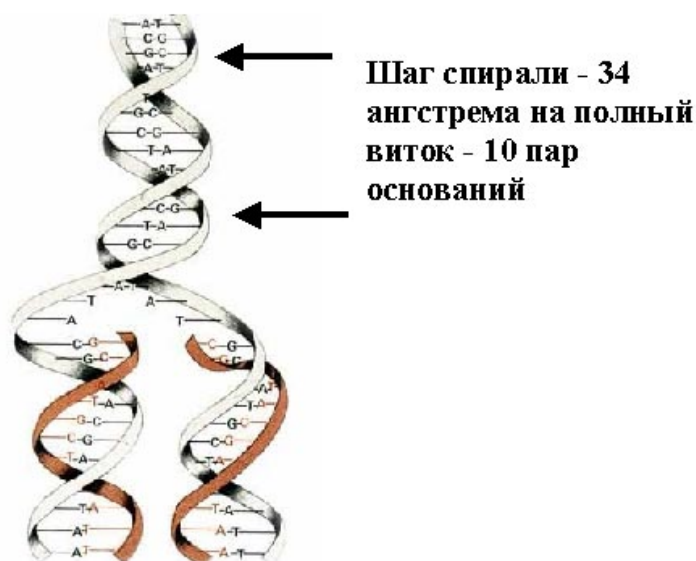


Рис. 1
РЕПЛИКАТИВНАЯ ВИЛКА

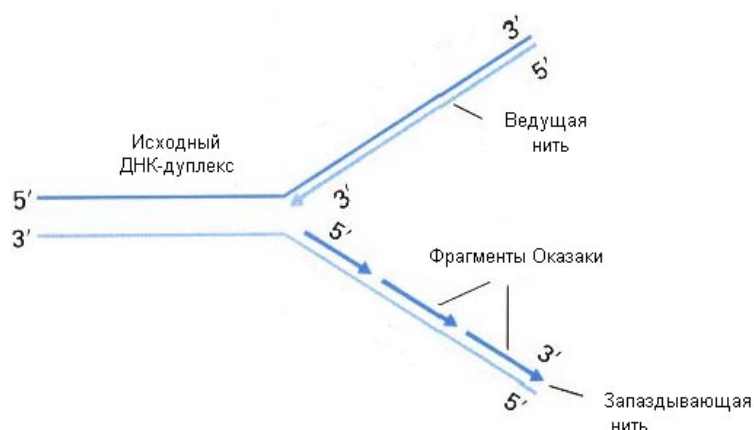


Рис. 2

Для того чтобы синтезировался белок, информация о последовательности аминокислот в его первичной структуре должна быть доставлена к рибосомам. Этот процесс включает два этапа — **транскрипцию** и **трансляцию**.

Транскрипция – синтез РНК на ДНК, то есть синтез комплементарной нити РНК на молекуле ДНК осуществляется ферментом РНК-полимеразой. В процессе транскрипции можно выделить три этапа. Первый этап - **инициация транскрипции** – начало синтеза нити РНК, образуется первая связь между нуклеотидами. Затем идет наращивание нити, ее удлинение – **элонгация**, и, когда синтез завершен, происходит **терминация**, освобождение синтезированной РНК. РНК-полимераза при этом «слезает» с ДНК и готова к новому циклу транскрипции.

РНК наращивается на 3'-конце. Присоединением каждого нуклеотида кор-фермент делает шаг по ДНК и сдвигается на один нуклеотид (рис. 3). Так как все в мире относительно, то можно сказать, что кор-фермент неподвижен, а сквозь него «протаскивается» ДНК. Понятно, что результат будет таким же. Но мы будем говорить о движении по молекуле ДНК. Размер белкового комплекса, составляющего кор-фермент, 150 Å. Размеры РНК-полимеразы - 150×115×110Å. То есть это такая **наномашина**.

Скорость работы РНК-полимеразы – до 50 нуклеотидов в секунду. Комплекс кор-фермента с ДНК и РНК называется элонгационным комплексом. В нем находится ДНК-РНК гибрид. То есть это участок, на котором ДНК спарена с РНК, и 3'-конец РНК открыт для дальнейшего роста. Размер этого гибрида – 9 пар оснований. Расплетенный участок ДНК занимает примерно 12 пар оснований.

ЭЛОНГАЦИЯ ТРАНСКРИПЦИИ

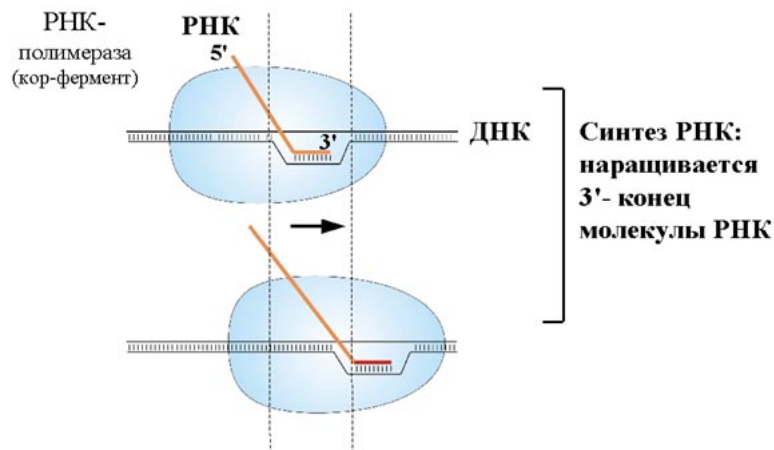


Рис. 3

Элонгационный комплекс довольно стабилен (рис. 4), т.к. он должен выполнить большую работу. То есть, сам по себе он с ДНК не «свалится». Он **способен перемещаться по ДНК со скоростью до 50 нуклеотидов в секунду**. Этот процесс называется **перемещение (или, транслокация)**. Взаимодействие ДНК с РНК-полимеразой (кор-ферментом) не зависит от последовательности этой ДНК. И кор-фермент при прохождении определенных сигналов терминции завершает синтез ДНК.

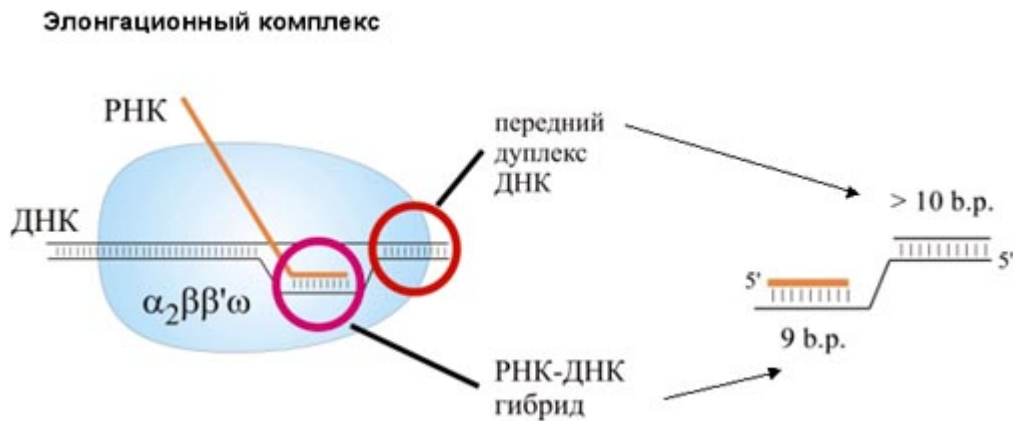


Рис. 4

При выходе из РНК-полимеразы ДНК-РНК гибрид должен быть расплетен. В этом участвует структура, называемая "шип". В транслокации, то есть перемещении РНК-полимеразы по нити ДНК, участвует α -спиральная структура, снизу вверх торчащая из β -субъединицы (рис. 5).

РНК-полимераза является представителем молекулярных машин. Помимо того, что в начале синтеза ДНК опускается заслонка, меняется конформация других частей РНК-синтазы, в ней во время роста цепи РНК происходят циклические изменения, не такие сильные, как при начале синтеза цепи. В начале заслонка опускается на 30 Å, а при каждом шаге фермента ДНК протягивается на один нуклеотид. В перемещении по ДНК участвует элемент РНК-полимеразы F-спираль (альфа-спиральная структуры, торчащая из бета-субъединицы вверх в главный канал). F-спираль при этом изгибается, перемещается

вместе с комплексом РНК-ДНК, освобождается от них и опять выпрямляется. Перемещается F-спираль за один шаг на 3,4 Å. Именно такой шаг у РНК-полимеразы.

Изменение конформации различных частей РНК-полимеразы происходит за счет изменения потенциальной энергии, что связано с электростатическими и гидрофобными взаимодействиями.

СТРУКТУРНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ РНК-ПОЛИМЕРАЗЫ

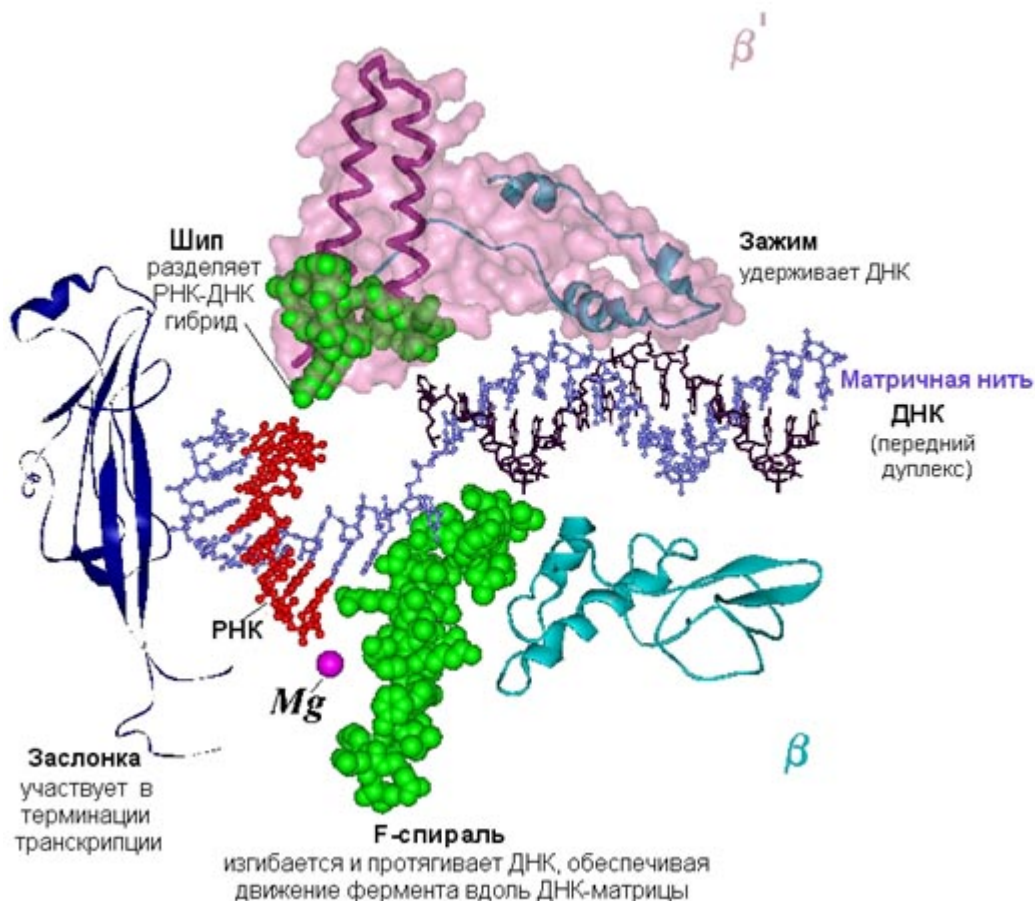


Рис. 5

Перейдем к **трансляции** – синтезу белков. Она проводится **рибосомами**. Рибосома состоит из двух субчастиц: большой и малой (рис. 6).

Белки в рибосоме держатся на каркасе, состоящем из рибосомной РНК. Формирование рибосомы начинается с того, что рибосомная РНК сворачивается и на нее в определенном порядке начинают налипать белки. На рис. 6 представлена рибосомная РНК. В ней самокомплементарные участки нити РНК спариваются, образуя шпильки (вторичная структура), и затем РНК сворачивается (третичная структура РНК), образуя каркас субчастиц.

Еще один вид РНК, участвующей **в синтезе белка, это транспортная РНК (тРНК).** Молекулы тРНК относительно небольшие (по сравнению с рибосомной или матричной РНК). Все тРНК имеют общую вторичную структуру. За счет спаривания комплементарных участков молекулы тРНК образуется три "стебля" с петлями на концах и один "стебель", образованный 5'- и 3'-концами молекулы тРНК (иногда образуется еще дополнительная пятая петля). Изображение этой структуры (рис. 7) похоже на крест или клеверный лист. "Голова" на этом листе представлена антикодонной петлей, здесь находится антикодон – те три нуклеотида, которые комплементарно взаимодействуют с кодоном в мРНК. Противоположный антикодонной петле стебель, образованный концами молекулы, называется акцепторным стеблем – сюда присоединяется соответствующая аминокислота. Распознают подходящие друг другу тРНК и аминокислоты специальные

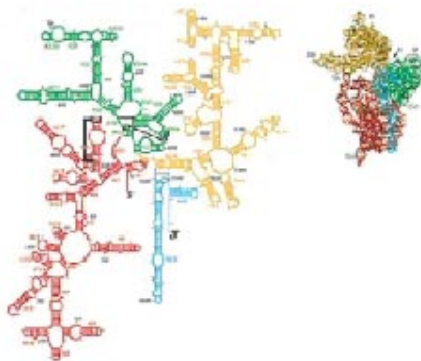
ферменты, называемые аминокил-тРНК синтетазами. Для каждой аминокислоты есть своя аминокил-тРНК синтетаза.



Рибосома состоит из большой и малой субъединицы.

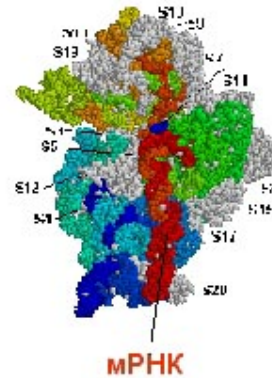
Основу структуры каждой субъединицы составляет сложным образом свернутая рРНК.

К каркасу из рРНК присоединяются рибосомные белки.



Вторичная и третичная структура рРНК малой субъединицы

(по Wimberly et al., Nature 2000, 407: 327-339)



Структура малой субъединицы

Рис. 6
СТРУКТУРА тРНК

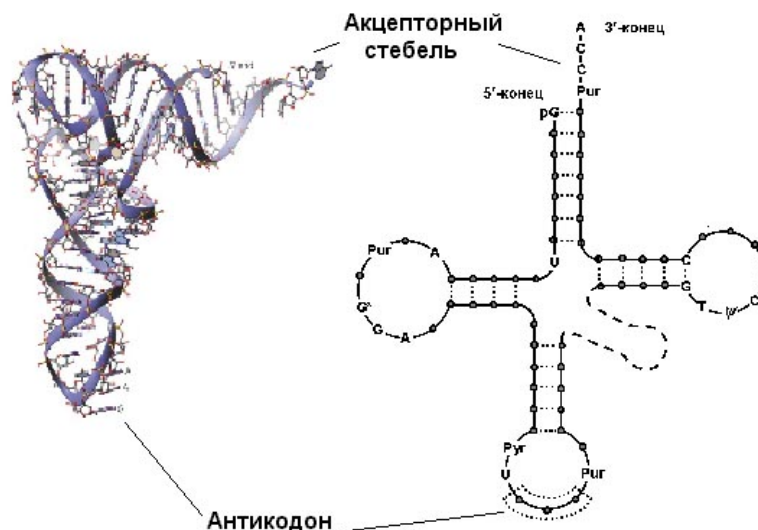


Рис. 7

В рибосоме находится матричная РНК (мРНК). С кодоном (тремя нуклеотидами) мРНК комплементарно связан антикодон транспортной РНК, на которой висит остаток аминокислоты. На рис. 8 видна такая структура (тРНК вместе с аминокислотой, которая называется аминокил-тРНК).

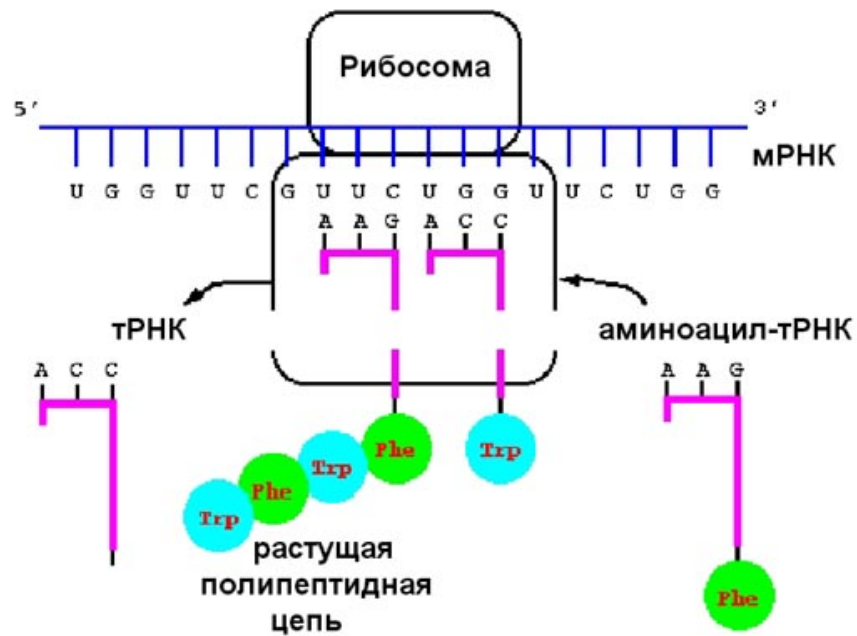


СХЕМА БИОСИНТЕЗА БЕЛКА

Рис. 8

Процесс трансляции, также как и процесс транскрипции, связан с перемещением вдоль молекулы нуклеиновой кислоты, разница в том, что рибосома шагает на три нуклеотида, в то время как РНК-полимераза - на один.

Литература

1. <http://bio.fizteh.ru/> Макеев А.В. Основы биологии.
2. <http://bio.fizteh.ru/student/files/biology/biolections/> Лекции по биологии. Факультет молекулярной и биологической физики МФТИ
3. БСЭ, т. 27