

ЗАНИМАТЕЛЬНАЯ МАНГА

МОЛЕКУЛЯРНАЯ БИОЛОГИЯ

Масахаро Такэмурा
Сакура

ЗАНИМАТЕЛЬНАЯ МАНГА
МОЛЕКУЛЯРНАЯ БИОЛОГИЯ



Масахаро Такэмурा
Сакура
Trend-ProCo, Ltd.



ОМША
Ohmsha

ОМК
издательство

Занимательная
молекулярная биология

Манга

マンガでわかる

分子生物学

武村 政春／著

咲良／作画

ビーコム／制作



OHM
Ohmsha

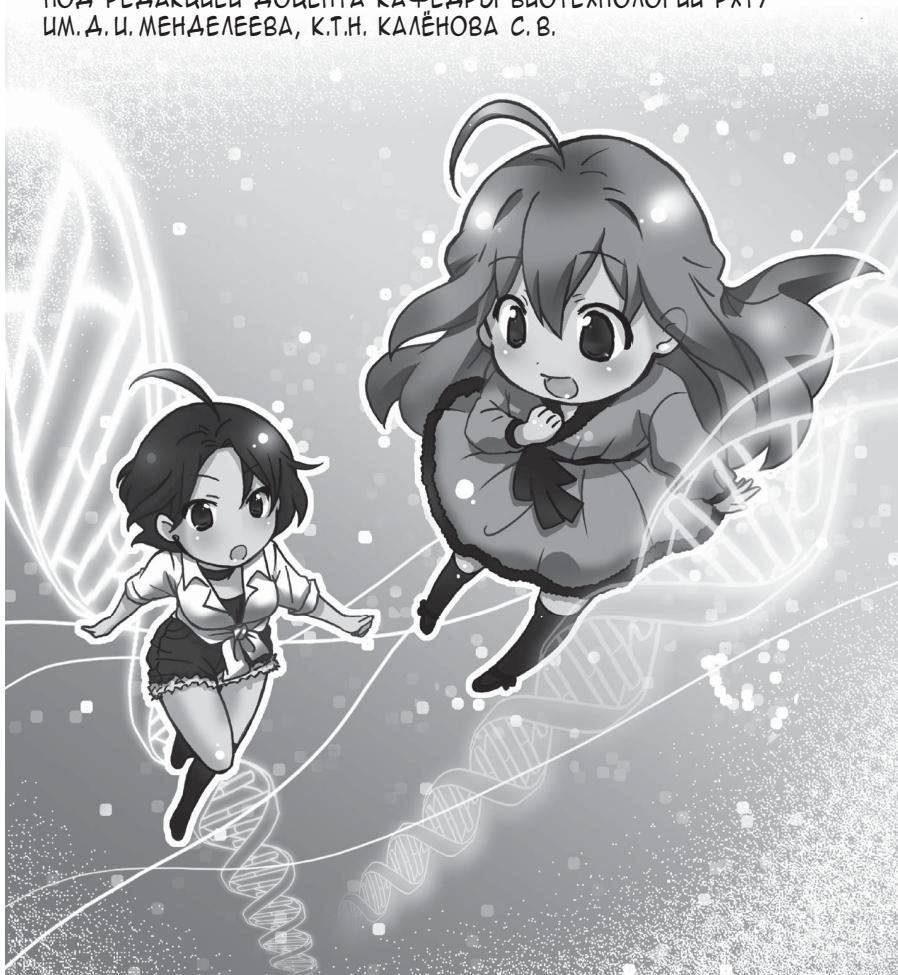
ОБРАЗОВАТЕЛЬНАЯ МАНГА

ЗАНЯТИЕЛЬНАЯ МОЛЕКУЛЯРНАЯ БИОЛОГИЯ

МАСАХАРУ ТАКЭМУРА
САКУРА

ПЕРЕВОД С ЯПОНСКОГО
КЛИОНСКОГО А. Б.

ПОД РЕДАКЦИЕЙ АОЦЕНТА КАФЕДРЫ БИОТЕХНОЛОГИИ РХТУ
ИМ. А. И. МЕНДЕЛЕЕВА, К. Т. Н. КАЛЁНОВА С. В.



Москва
ДМК Пресс,
2017

УДК 577.2

ББК 28.070

Т15

Такэмура, Масахару.

М31 Занимательная молекулярная биология. Манга. / Такэмура Масахару (автор), Сакура (худож.); пер. с яп. Клионского А. Б. – М. : ДМК Пресс, 2017. – 238 с.: ил. – (Серия «Образовательная манга»).

Две студентки знаменитого биолога доктора Моро, Ами Касуга и Рин Накукава, регулярно пропускали занятия и рискуют провалить экзамен. Однако профессор заинтересован в том, чтобы каждый студент знал его предмет на «отлично». Он приглашает нерадивых студенток на таинственный остров, где под руководством лаборанта Маркуса они пройдут интенсивный курс обучения молекулярной биологии – от строения клетки до генной инженерии и клонирования. А заодно узнают, какую печальную тайну скрывал от них доктор...

Издание предназначено для студентов медицинских и химических специальностей, а также всех, кому интересно изучение строения и функционирования живых организмов.

УДК 577.2

ББК 28.070

Original Japanese edition

Manga de Wakaru Bunshi Seibutsugaku

By Masaharu Takemura (Author), Sakura (Illustrator) and Becom Co., Ltd. (Producer)

Copyright © 2008 by Masaharu Takemura and Becom

Published by Ohmsha, Ltd.

3-1 Kanda Nishikicho, Chiyodaku, Tokio, Japan

Russian language edition copyright © 2017 by DMK Press

Translation rights arranged with Ohmsha, Ltd.

Все права защищены. Никакая часть этого издания не может быть воспроизведена в любой форме или любыми средствами, электронными или механическими, включая фотографирование, ксерокопирование или иные средства копирования или сохранения информации, без письменного разрешения издательства.

ISBN 978-4-274-06702-0 (яп.)

ISBN 978-5-97060-354-3 (рус.)

Copyright © 2008 Masaharu Takemura and Becom Co., Ltd.

© Оформление, издание, ДМК Пресс, 2017

ПРЕДИСЛОВИЕ

Молекулярная биология – научная дисциплина, направленная на понимание поведения компонентов живых организмов, слишком малых для того, чтобы видеть их невооруженным глазом. Гены играют важную роль в нашем мире. Однако же их не просто нельзя увидеть – они с трудом различимы даже под микроскопом.

Учёные, которые занимаются молекулярной биологией (и я в том числе) проводят немало опытов каждый день в лабораториях в колледжах, научно-исследовательских институтах и научных организациях. Цель исследователей состоит в изучении принципов действия ДНК, белков и РНК и понять, и понять этот маленький мир на основе структур, которые они создают.

Поскольку мы не видим объекты нашего эксперимента, знания в области молекулярной биологии накапливаются по мере получения опытных данных. И тем не менее мы ещё очень многое не понимаем. Ставить эксперименты весьма сложно, но ещё сложнее описать их результаты простым и ясным языком, доступным неспециалистам. В этой книге из серии «Образовательная манга» представлена одна из таких попыток.

СОДЕРЖАНИЕ

❖ Пролог	1
ГЛАВА 1. ЧТО ТАКОЕ КЛЕТКА?	15
❖ Все живые организмы состоят из клеток	16
1. Клетка – “ячейка жизни”	16
❖ Клетки живые	20
❖ Клетка состоит из различных молекул	23
❖ Мы никогда не видели клетку!	24
❖ Самая длинная клетка в нашем теле	24
2. Внутреннее строение клетки	25
❖ Прорыв сквозь клеточную мембрану	27
❖ Органеллы внутри клетки	31
❖ Заметно крупные органеллы	35
3. Ядро – «мозг» клетки	35
❖ Что находится внутри ядра?	37
❖ Попробуем проникнуть в ядро	38
❖ Что внутри ядра?	41
4. Одноклеточные и многоклеточные организмы	48
5. Прокариоты и эукариоты	51
ГЛАВА 2. БЕЛКИ И ДНК: РАСШИФРОВКА ГЕНЕТИЧЕСКОГО КОДА	53
1. Белки регулируют клеточную активность	59
❖ Белки-ферменты	69
❖ Роль белков в делении клеток	70
❖ Белки и сокращение мускулов	71
❖ Заключение	72
2. Белки состоят из аминокислот	73
❖ Изменение всего одной кислоты приводит к серьёзным последствиям	75
❖ Как клетки узнают, какой белок создавать?	78
3. Гены – шаблон для построения белков	78
❖ За порядок аминокислот отвечают шаблоны	79
❖ Генетический код	80
❖ Двойная спираль ДНК	82
4. ДНК и нуклеотиды	82
❖ ДНК состоит из нуклеотидов	83
❖ Нуклеотиды – буквы “кода”	85
5. Геном – библиотека генов	89
РЕПЛИКАЦИЯ ДНК И ДЕЛЕНИЕ КЛЕТКИ	93
❖ Воспроизведение – основа жизни	94
1. Деление клеток	94
❖ Деление клеток – простейший способ воспроизведения	99
❖ Деление клеток в многоклеточных организмах	102
❖ Что происходит с генами	107

2. Репликация ДНК Перед делением клеток	107
❖ Двойная спираль ДНК	108
❖ Роль ДНК-полимеразы в репликации ДНК	110
3. Что такое хромосома?	124
❖ «Хромосома» означает «окрашенное тело»	124
❖ В организме человека 24 типа хромосом	125
❖ Хромосомы видны только в процессе деления клетки	125
4. Процесс клеточного деления	126
❖ Митоз	126
❖ Цитокинез	129
5. Что такое клеточный цикл?	130
6. Почему возникает рак?	132

ГЛАВА 3. КАК СОЗДАЁТСЯ БЕЛОК 135

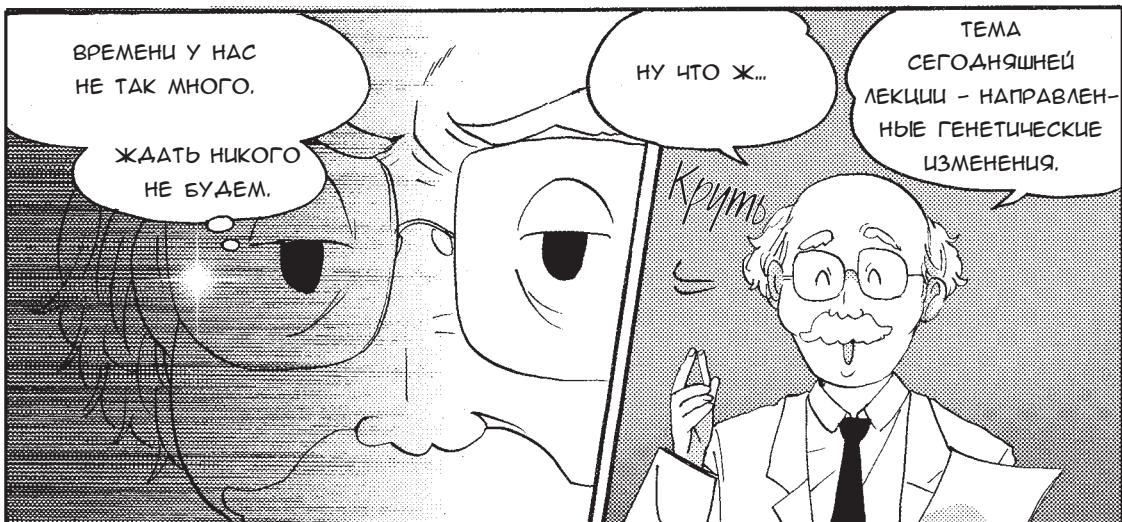
❖ Как создаётся белок	136
1. Ген становится активным после транскрипции	136
❖ Транскрипция	142
❖ Тянем «телефонный провод»	148
2. Хроматин и транскрипция	148
❖ мРНК синтезируется, используя одну из нитей ДНК как шаблон	150
❖ рНК-Полимераза копирует генетическую информацию	152
❖ Обрезание концов транскрибированной мРНК	157
❖ Перестановка экзонов	159
3. Что такое РНК?	160
❖ Основания РНК	160
❖ ДНК и РНК содержат разные сахара	162
❖ РНК обладает гибкостью	164
❖ Многочисленные виды РНК	165
❖ Рибосома: механизм синтеза белка	168
4. Транспортная РНК	168
❖ Принцип действия генетического кода	170
❖ тРНК переносит аминокислоты	173
❖ Белок синтезирован	177

ГЛАВА 4. ГЕНЕТИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ И ИССЛЕДОВАНИЯ 179

1. Технология генетической рекомбинации	180
❖ Последний день занятий...	182
❖ Изменение ДНК	185
❖ Селекция и технология генетической рекомбинации	187
❖ Технология рекомбинации генов: пример	191
❖ Методы обнаружения и выделения ДНК	196
❖ Генномодифицированные (трансгенные) животные	197
2. Персонализированная медицина и генная терапия	200
❖ Генетика – ключ к профилактике болезней?	200
❖ Генная терапия	202
3. Где современный Леонардо да Винчи?	205
❖ «Ренессанс» РНК	205

❖ РНК-интерференция: использование РНК	
для изменения экспрессии генов	206
❖ Может ли РНК лечить болезни?	207
4. Можно ли рассказать поподробнее о том, как протекает ПЦР?.....	209
5. Клонирование животных	211
6. Молекулярная эволюция: история, зашифрованная в генах	214
❖ Эпилог	216

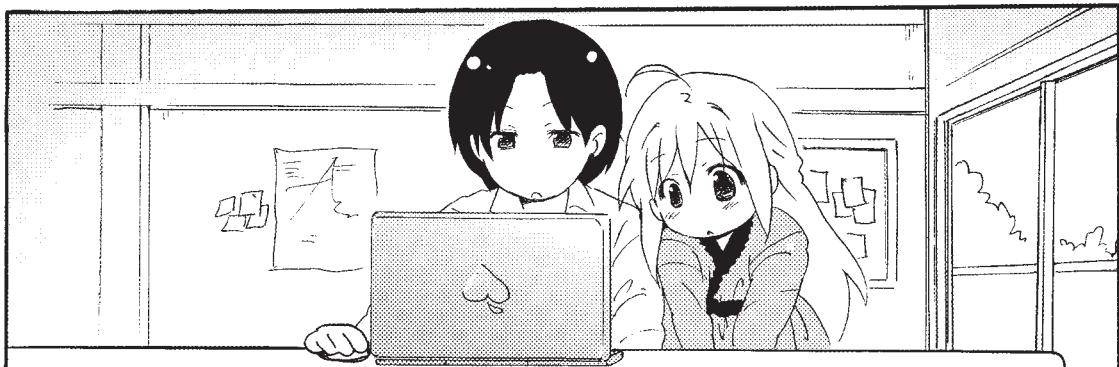
❖ ПРОЛОГ

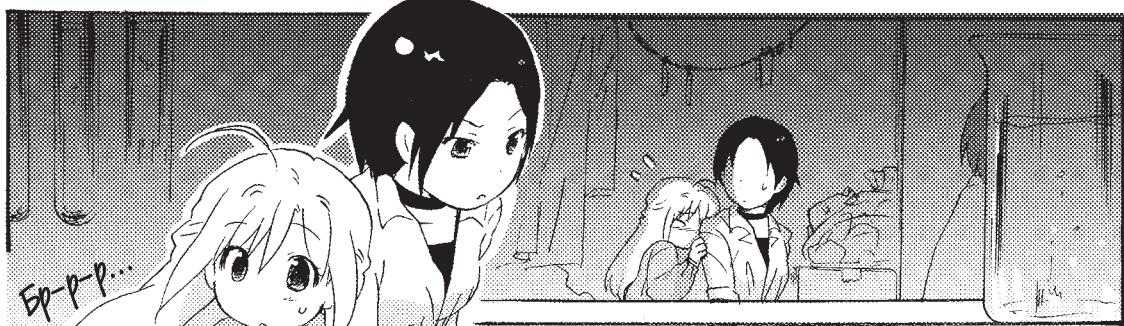


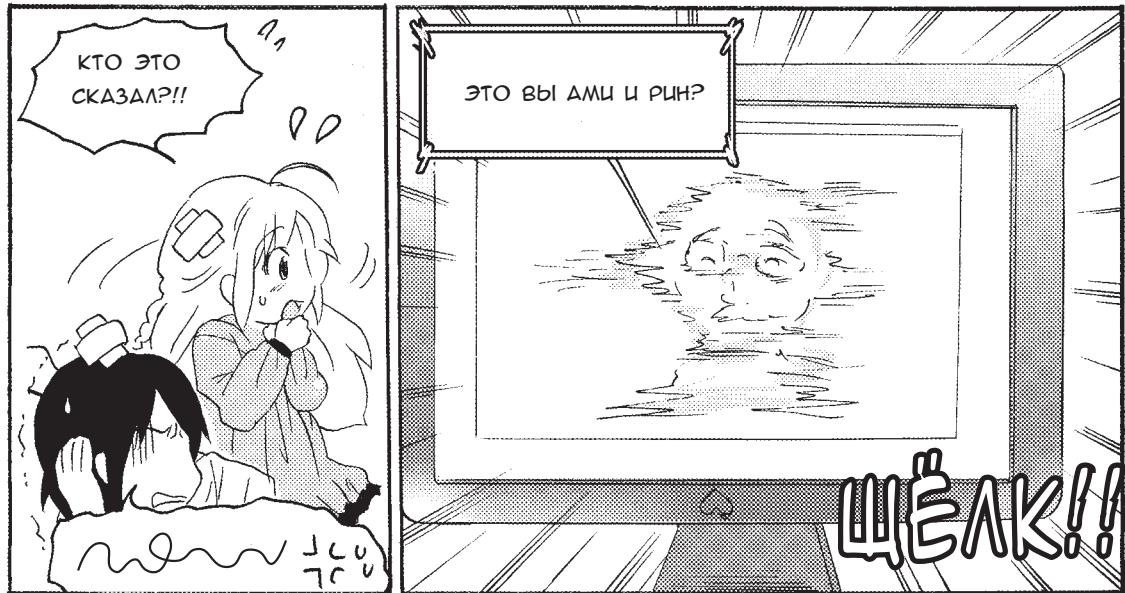


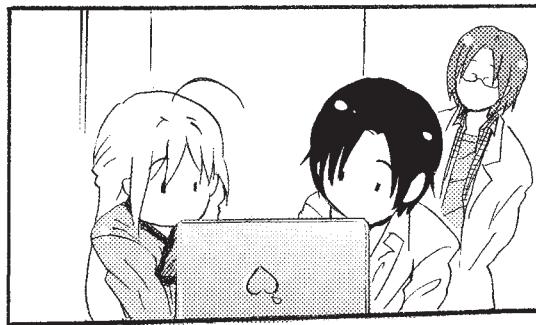
...НЕСКОЛЬКИМИ
МИНУТАМИ РАНЕЕ...

РИН НАЦУКАВА,
В СВЯЗИ С ТЕМ ЧТО ВЫ ПРОПУСТИЛИ БОЛЬШИНСТВО ЛЕКЦИЙ ПО МОЛЕКУЛЯРНОЙ БИОЛОГИИ
В 1-М СЕМЕСТРЕ, ВЫ НЕ ДОПУЩЕНЫ К ЭКЗАМЕНУ. ЧТОБЫ ПОЛУЧИТЬ ДОПУСК, ВАМ ПОТРЕБУЕТСЯ ВЫПОЛНИТЬ ОБЯЗАТЕЛЬНЫЕ ЗАДАНИЯ. ОБРАЩАЙТЕСЬ В ЛАБОРАТОРИЮ.
ПРОФЕССОР МОРО



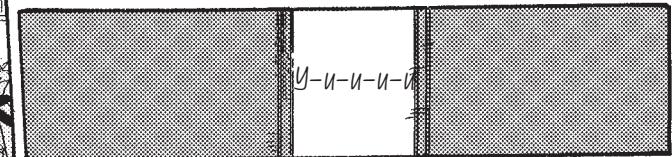






НЕСКОЛЬКО ДНЕЙ СПУСТЯ...

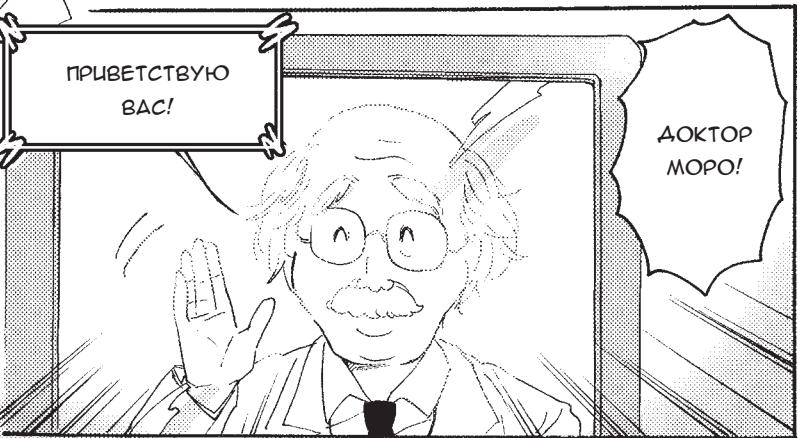
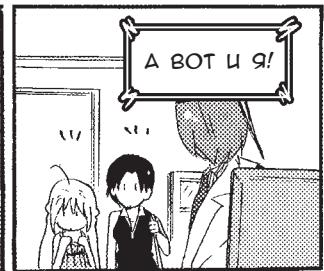




ДОКТОР МОРО - ОДИН
ИЗ САМЫХ ПРОГРЕС-
СИВНЫХ МОЛЕКУЛЯРНЫХ
БИОЛОГОВ. ЭТА ЛАБОРА-
ТОРИЯ ПОСТРОЕНА
НА ДОХОДЫ ОТ ЕГО
ИЗОБРЕТЕНИЙ.

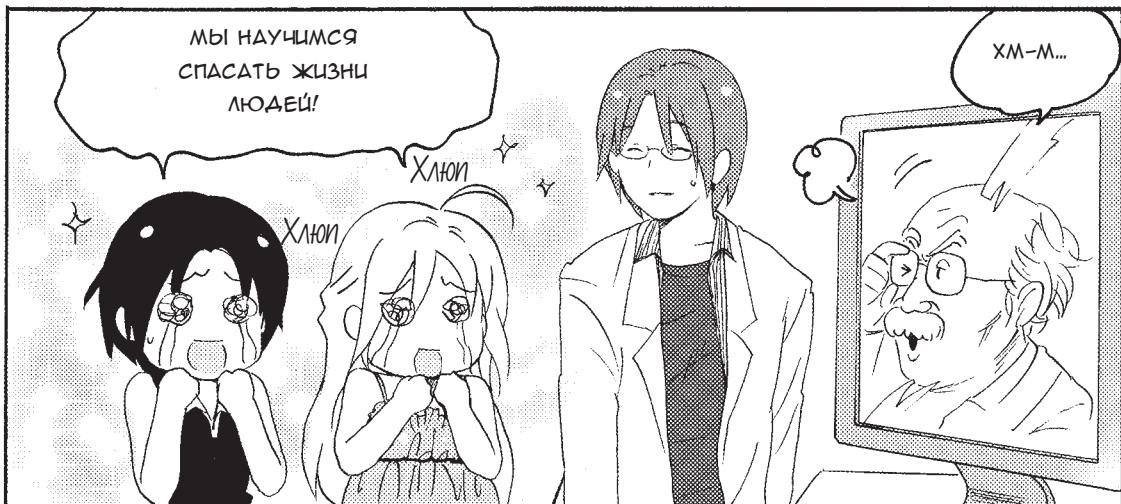
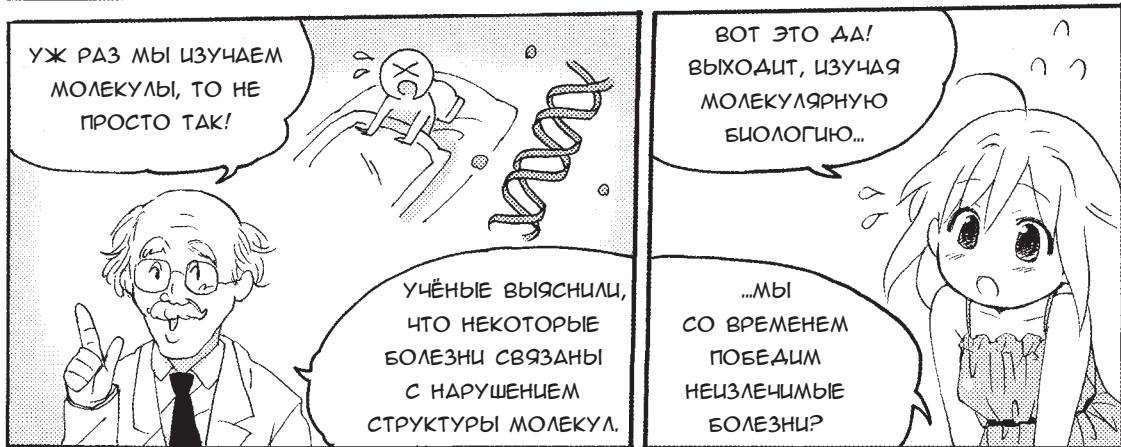
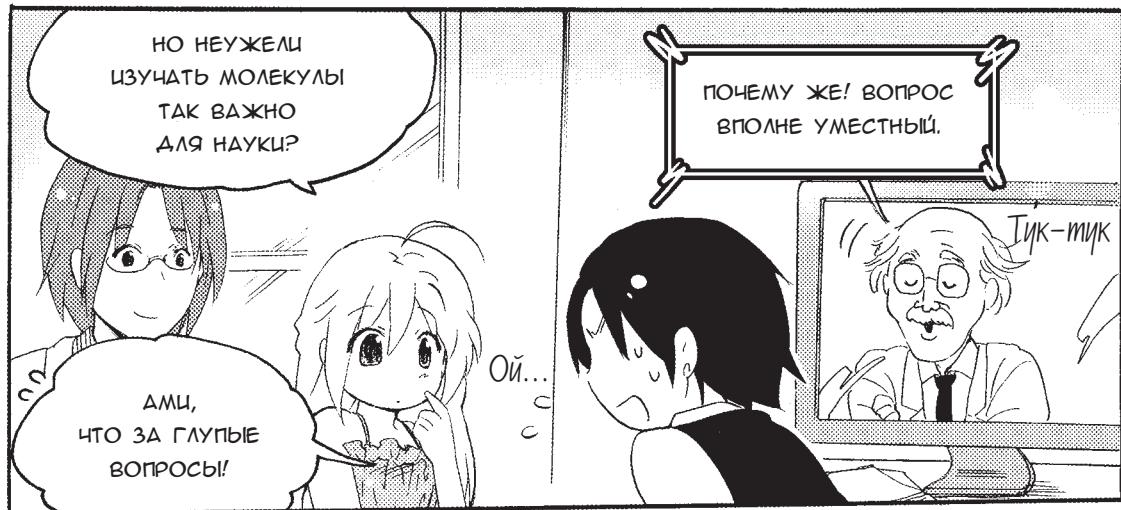


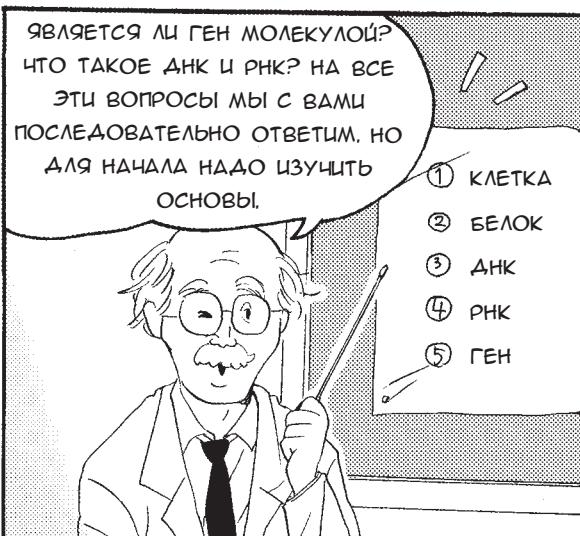
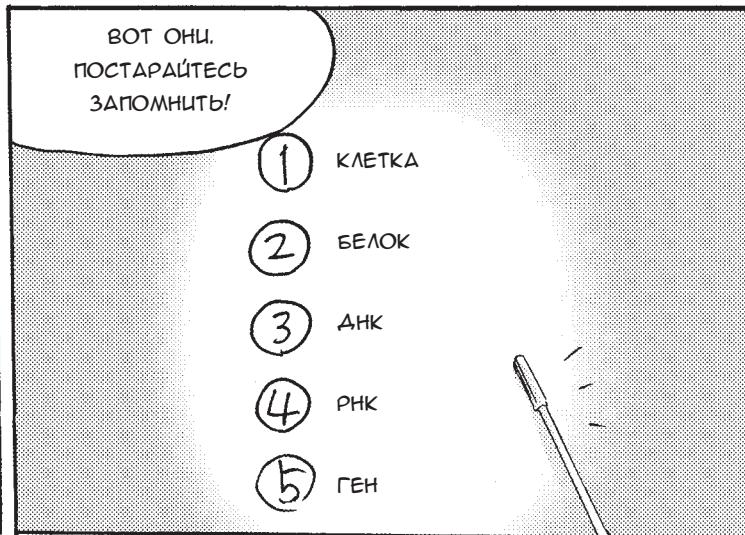
И ЧТО,
ВСЁ ЭТО
ОН СДЕЛАЛ
САМ?

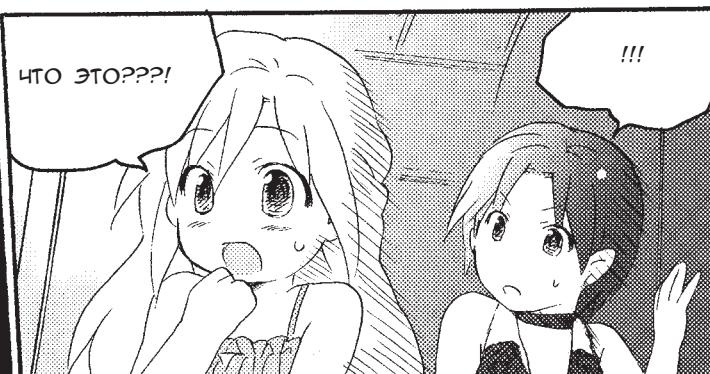
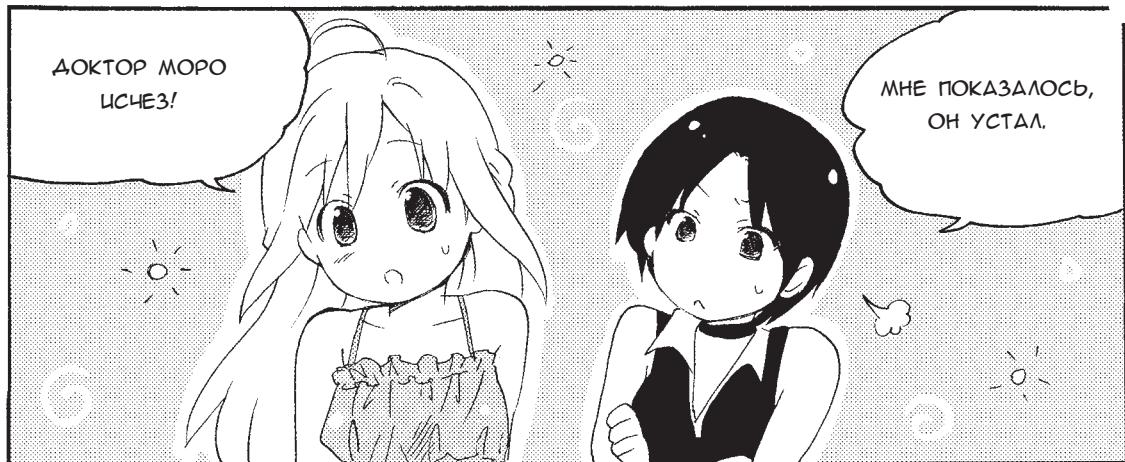












ЭТУ ЧУДО-МАШИНУ ИЗОБРЁЛ
ДОКТОР МОРО!

ДА-ДАМ



ОНА МОДЕЛИРУЕТ ВИРТУАЛЬНУЮ
РЕАЛЬНОСТЬ, КОТОРАЯ ДЕЛАЕТ
ЗРИМЫМ МИКРОСКОПИЧЕСКИЙ МИР!
ТАКИМ ОБРАЗОМ МЫ СМОЖЕМ
РАССМОТРЕТЬ ТО, ЧТО В ОБЫЧНОЙ
ЖИЗНИ СКРЫТО ОТ НАШИХ ГЛАЗ!

СЕГОДНЯ
МЫ ИСПОЛЬЗУЕМ
ЭТУ МАШИНУ
ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ
МОЛЕКУЛЯРНОЙ
БИОЛОГИИ.

БАМ — МИ

Потрясающе!

Фантастика!

1

ЧТО ТАКОЕ КЛЕТКА?

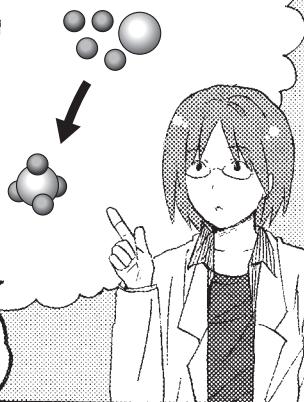
See

1 КЛЕТКА – "ЯЧЕЙКА ЖИЗНИ"

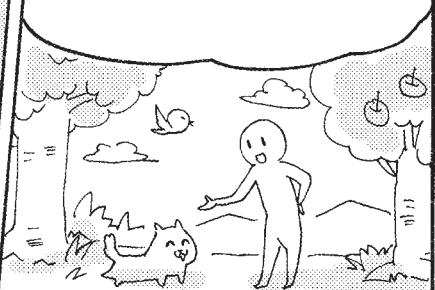
❖ ВСЕ ЖИВЫЕ ОРГАНИЗМЫ СОСТОЯТ ИЗ КЛЕТОК



ИЗ МАЛЫХ МОЛЕКУЛ
ДЕЙСТВИТЕЛЬНО МОГУТ
ОБРАЗОВЫВАТЬСЯ
БОЛЬШИЕ.

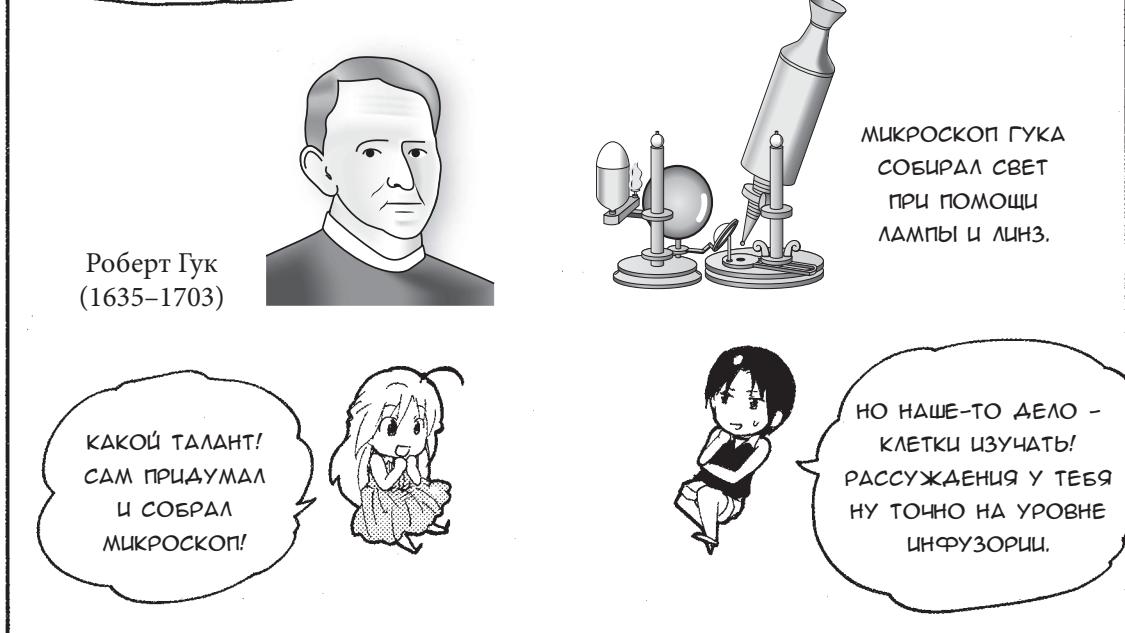


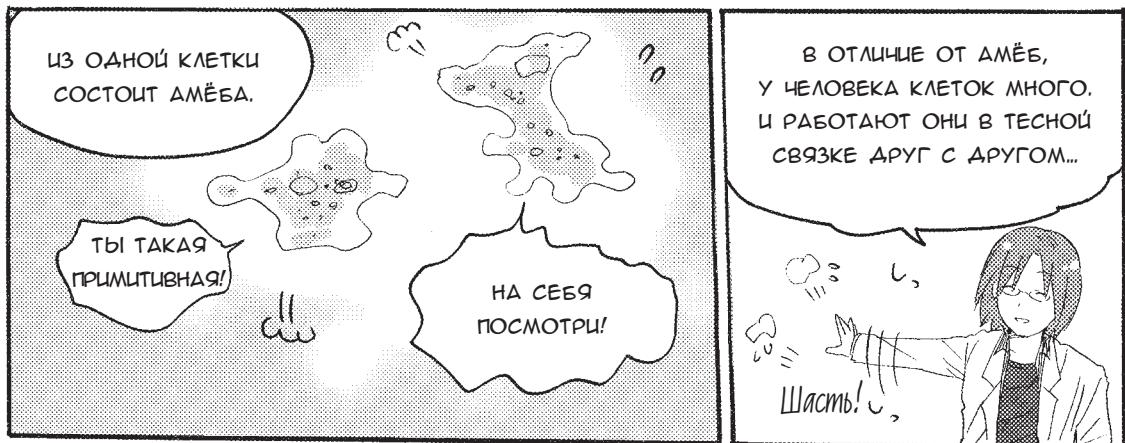
А ИЗ КЛЕТОК, КАК МЫ
УЖЕ СКАЗАЛИ, СОСТОИТ
КАЖДЫЙ ЖИВОЙ
ОРГАНИЗМ.



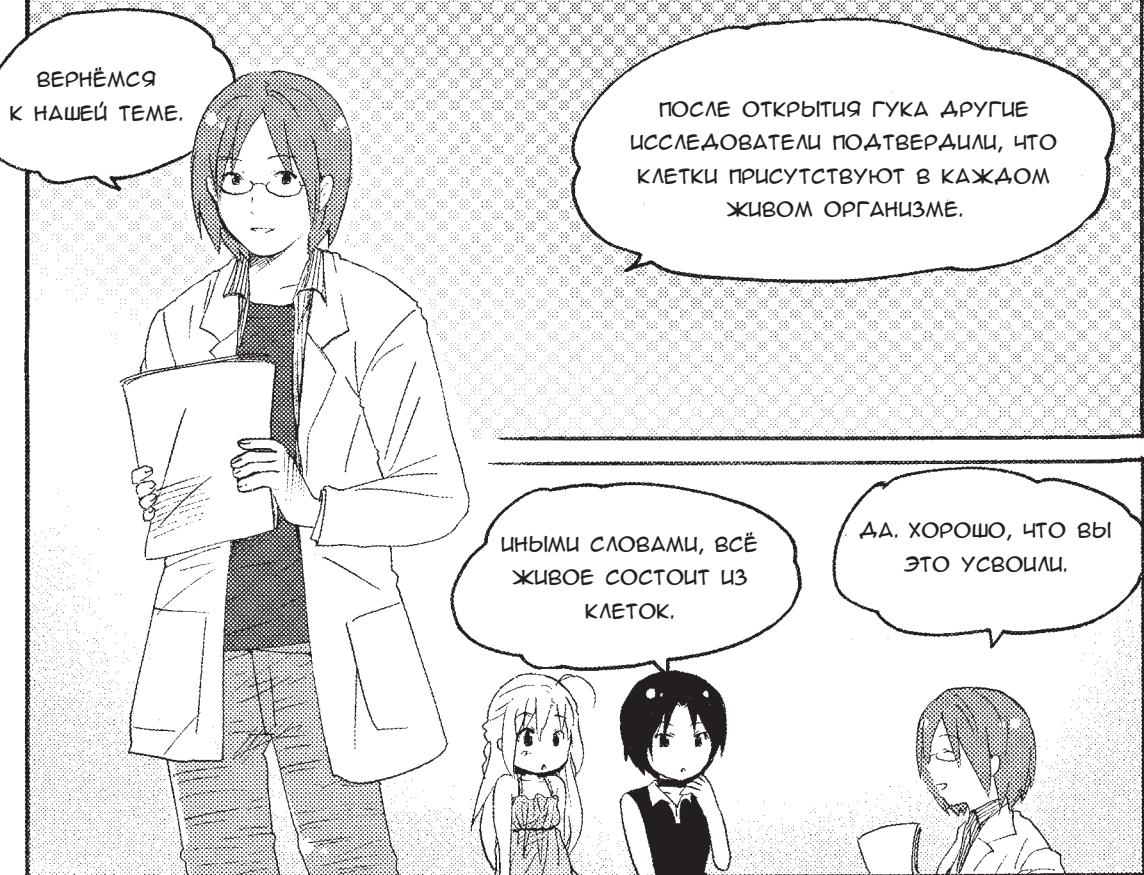
А ТЕПЕРЬ ОПРОБУЕМ
НАШУ ЧУДО-МАШИНУ!

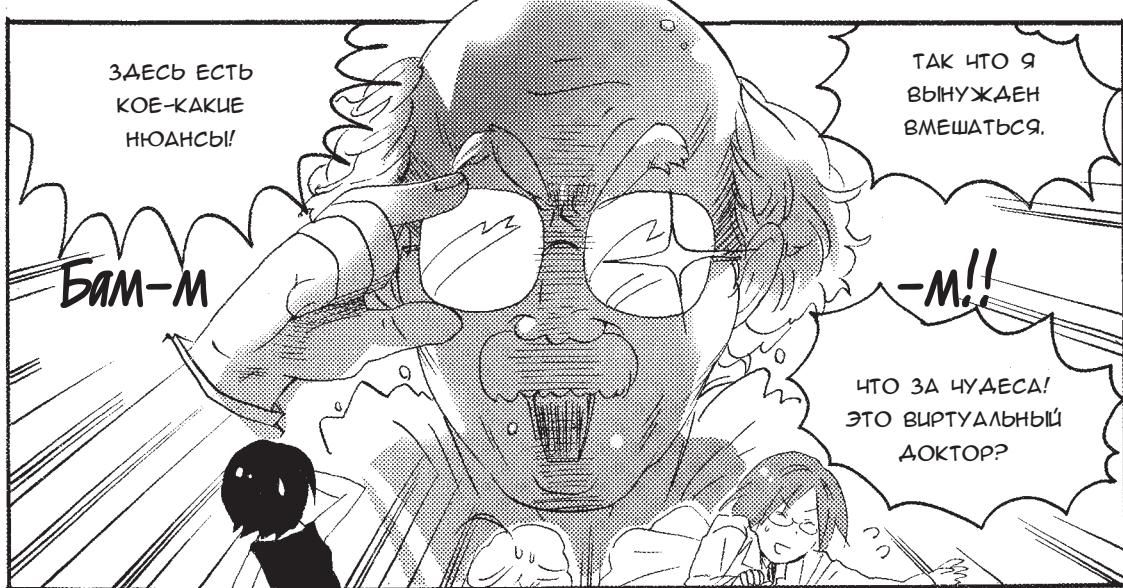






❖ КЛЕТКИ ЖИВЫЕ







❖ КЛЕТКА СОСТОИТ ИЗ РАЗЛИЧНЫХ МОЛЕКУЛ

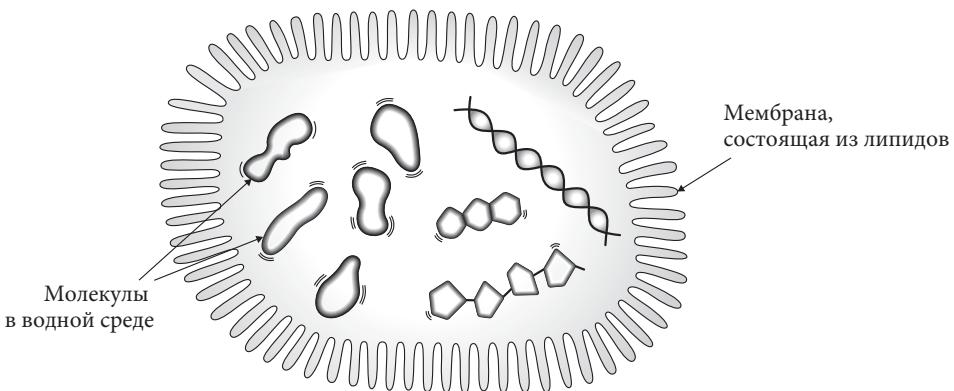


Существование живой клетки обусловлено взаимодействием различных молекул друг с другом. Множество молекул, больших и маленьких, образуют микроскопическое «сообщество» внутри клетки, и в этом «сообществе», как в социальной среде, формируются многочисленные связи.

К крупным молекулам относятся, например, нуклеиновые кислоты (в том числе ДНК), белки, липиды (такие как жиры и холестерин), полисахариды (такие как крахмал). В отличие от них, молекулы воды, аминокислот и минеральных веществ относительно невелики.

Помните, доктор Моро сказал, что белки играют особую роль в жизнедеятельности клетки?

Крупная молекула белка состоит из целого ряда связанных друг с другом небольших молекул *аминокислот* (всего их 20 видов). От того, какие виды аминокислот входят в состав белка, и каковы способы их сочетания друг с другом, зависит структура белка, а от нее, в свою очередь, – его функции. За каждым белком закреплена определённая роль, и от того, насколько хорошо она выполняется, зависит жизнь клеток.



В клетке находятся разнообразные молекулы

А теперь рассмотрим подробнее структуру клетки. Внешняя её часть называется *клеточной мембраной*. Она состоит из липидов.

В самом общем смысле клетка – это ячейка с плотной оболочкой (мембраной), внутри которой заключены молекулы различных веществ.

Помимо прочего, в клетке присутствует глюкоза – один из основных видов углеводов. Возможно, вы слышали, что такие продукты, как рис и макароны, богаты углеводами. В них, в частности, содержится и глюкоза. А для клетки она служит источником энергии.

❖ МЫ НИКОГДА НЕ ВИДЕЛИ КЛЕТКУ!



До сих пор мы говорили о мельчайших объектах, которые видны только под микроскопом. Возможно, дома у вас нет микроскопа. Получается, что у вас не было возможности увидеть, как выглядят клетки...

Но подождите-ка! Давайте откроем холодильник. Вот она, на самом виду – большущая продолговатая клетка... Ну да, яйцо! То самое яйцо, которое вы с таким аппетитом съедаете на завтрак, – это всего лишь одна клетка!

❖ САМАЯ ДЛИННАЯ КЛЕТКА В НАШЕМ ТЕЛЕ



Конечно же, тело человека, как и других живых существ, состоит из клеток. Однородные клетки функционируют слаженно, образуя те или иные внутренние органы.

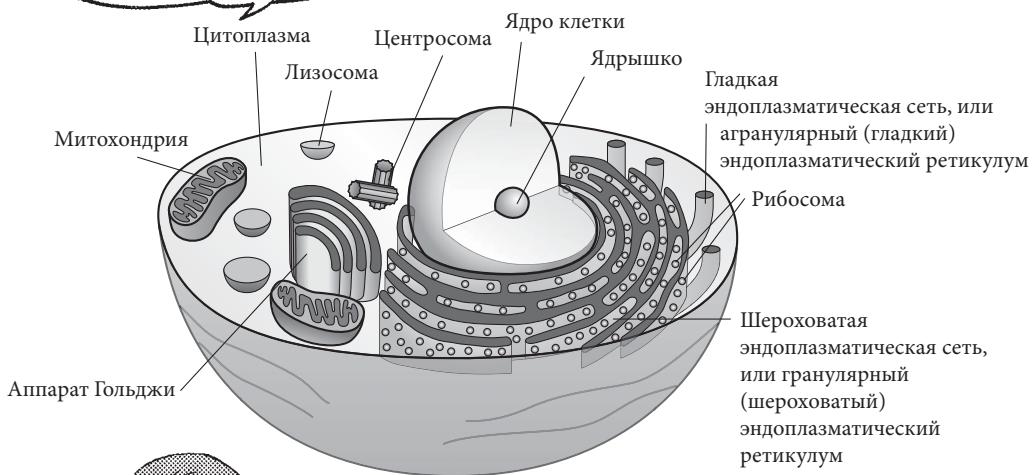
Как правило, для наблюдения за клетками необходим микроскоп. Но существуют и длинные узкие клетки, которые вытянуты почти во весь наш рост! Это нервная клетка, которая реагирует на различные внешние раздражители: свет, звук, прикосновение, и посыпает соответствующие сигналы в мозг. Нервные клетки также называются *нейронами*.

Нейрон состоит из тела клетки и аксона. Аксон играет роль «проводника», по которому нервные импульсы передаются в разные органы тела и в мозг. В теле клетки расположено множество отростков – *дendritov*, которые принимают сигналы от других нейронов. Аксон некоторых нервных клеток может достигать длины 1 м!



2 ВНУТРЕННЕЕ СТРОЕНИЕ КЛЕТКИ

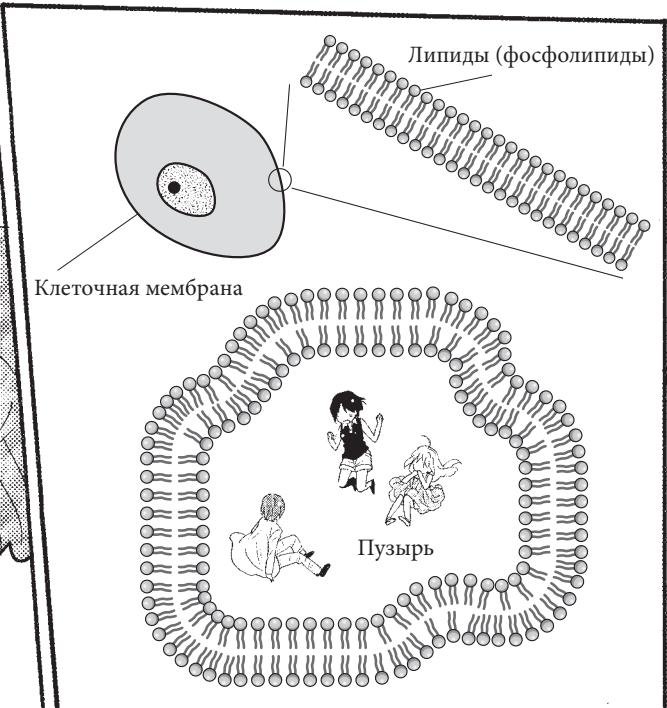
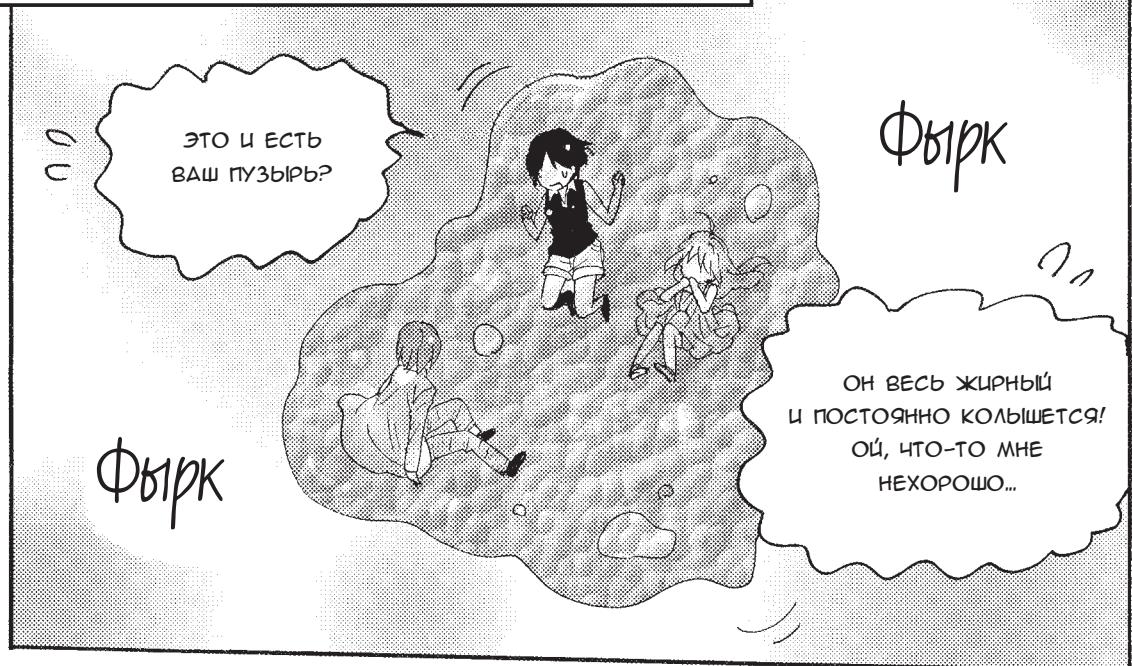
А ТЕПЕРЬ ОТПРАВИМСЯ
В ПУТЕШЕСТВИЕ ПО КЛЕТКЕ
И ПОГЛЯДИМ,
ЧТО У НЕЕ ВНУТРИ!





* ЭТО ТРАНСПОРТНОЕ СРЕДСТВО НАЗЫВАЮТ ТАКЖЕ ВЕЗИКУЛЯРНЫМ ТРАНСПОРТОМ.

❖ ПРОРЫВ СКВОЗЬ КЛЕТОЧНУЮ МЕМБРАНУ



ПОЧЕМУ БЫ НАМ ПРОСТО НЕ
ТЕЛЕПОРТИРОВАТЬСЯ В КЛЕТКУ?
МЫ, В КОНЦЕ КОНЦОВ, В
ВИРТУАЛЬНОМ МИРЕ. ТУТ ВСЁ
ВОЗМОЖНО!

ФЫРК

НЕТ, ТАКОЕ СРЕДСТВО
ПЕРЕДЕВИЖЕНИЯ ВЫБРАНО
НЕСПРОСТА... СМОТРИТЕ, МЫ УЖЕ
ПРИБЛИЖАЕМСЯ К КЛЕТКЕ.



ПОВЕРХНОСТЬ КЛЕТОЧНОЙ
МЕМБРАНЫ ОЧЕНЬ СЛОЖНО
УСТРОЕНА. ОТСЮДА ОНА
КАЖЕТСЯ НАМ БУГРИСТОЙ,
ПОТОМУ ЧТО ВНУТРИ ЗАКЛЮЧЕНЫ
РАЗЛИЧНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ.

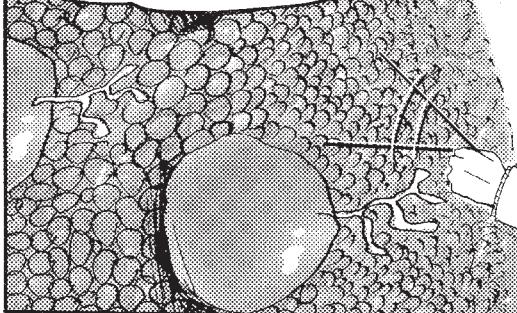
А ТЕПЕРЬ
СОБЕРИТЕСЬ! МЫ
УСКОРЯЕМСЯ.

БР-Р-Р...

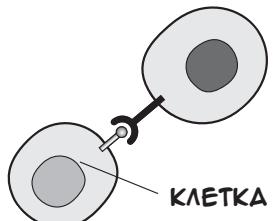
ФЫРК

ФЫРК

МЕМБРАНА КЛЕТКИ СОСТОИТ ИЗ ДВУХ ЧАСТЕЙ: ПЛЁНКИ ИЗ ДВОЙНОГО СЛОЯ ФОСФОЛИПИДОВ СТАК НАЗЫВАЕМОГО **ФОСФОЛИПИДНОГО БИСЛОЯ** И КРУПНЫХ МОЛЕКУЛ, НАПРИМЕР БЕЛКОВ.



БЕЛКИ НА ПОВЕРХНОСТИ МЕМБРАНЫ ВЫПОЛНЯЮТ ВАЖНУЮ РОЛЬ. ЭТО СВОЕОБРАЗНЫЕ "СЕНСОРЫ"...



КРОМЕ ТОГО, ОНИ ПОЗВОЛЯЮТ ОДНОЙ КЛЕТКЕ ВЗАИМОДЕЙСТВОВАТЬ С ДРУГИМИ.



ПРИВЕТ! КАК ЖИЗНЬ?

АА ВСЁ КАК ОБЫЧНО.

ОНИ ОБЩАЮТСЯ, СОВСЕМ КАК МЫ!



КАКАЯ ПРЕЛЕСТЬ!

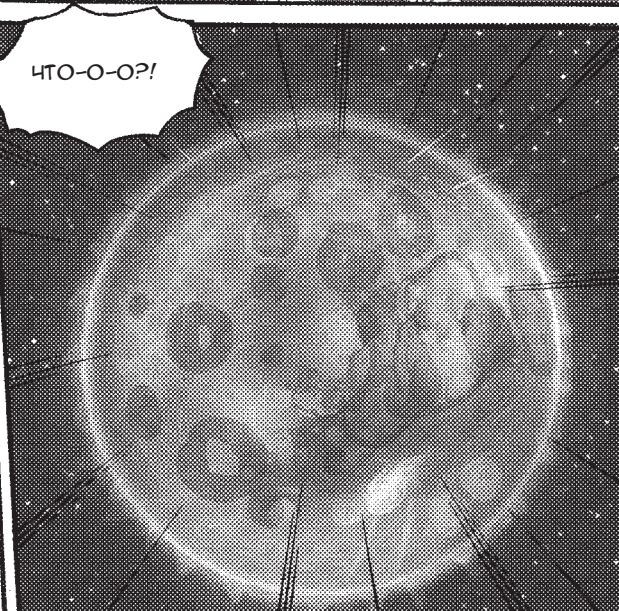
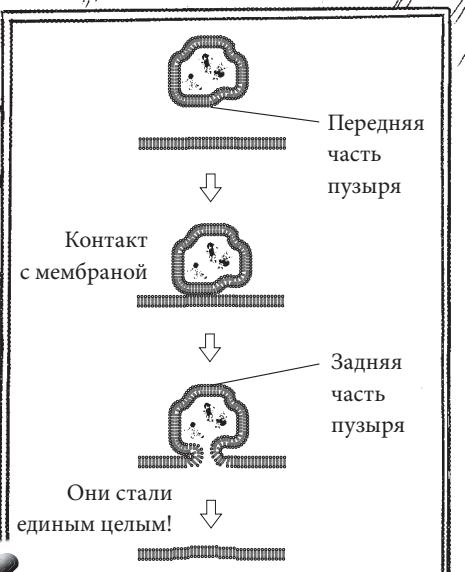


ХМ-М...

ДАВАЙТЕ ПОСЛУШАЕМ, О ЧЁМ ГОВОРЯТ КЛЕТКИ!

я серьёзно!





❖ ОРГАНЕЛЛЫ ВНУТРИ КЛЕТКИ



Что за желе нас окружает?



Это *цитоплазма* – густая масса, состоящая из воды и растворённых в ней веществ. Это вещества, полезные для клетки, и шлаки.

Продвигаясь по цитоплазме, мы видим, что в ней плавают крупные объекты – *органеллы*. Клетка буквально напичкана ими! Одни из них по форме похожи на кита, другие – на космический корабль, третьи – на мяч.

Поскольку, как мы уже знаем, клетки живые, то для поддержания их жизнедеятельности необходимы определённые процессы. Тут-то и приходят на помощь органеллы! В переводе органелла означает «маленький орган». Точно так же как сердце, мозг и другие органы выполняют определенные функции, каждая органелла клетки ответственна за свой участок работы...

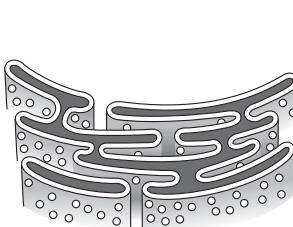
Кстати, наш «пузырь» на самом деле представлял собой органеллу.



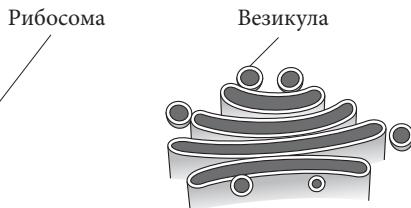
Маркус! А можно вопрос? Что это за странные изогнутые стенки?



Посмотрим на них поближе. Эти «стенки» образует тонкая плёнка, представляющая собой так называемый *фосфолипидный бислой*. Чем-то они напоминают клеточную мембрану, но только на первый взгляд. А если присмотреться, мы увидим, что они скорее похожи на причудливо свёрнутую ленту...



Эндоплазматическая сеть



Аппарат Гольджи



Ой! Прямо какой-то лабиринт.

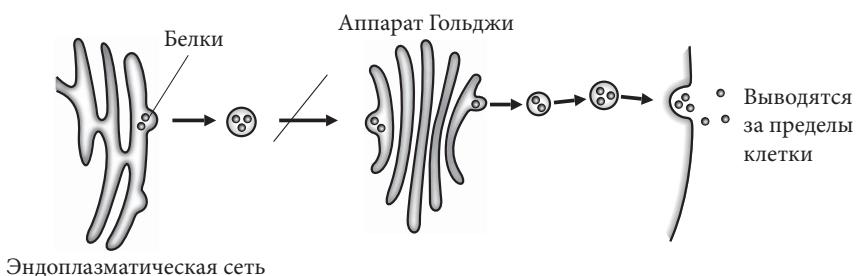


Эта органелла называется эндоплазматической сетью. На её поверхности расположены многочисленные рибосомы – другие органеллы меньшего размера.

Во многих местах, например в печени и лимфатических узлах, существуют клетки, которые отвечают за секрецию белков, которые предназначены для использования другими клетками. В процессе секреции белка органелла, называемая *аппаратом Гольджи*, или *комплексом Гольджи*, выступает в качестве «службы доставки». Процесс «упаковки и доставки» нужных белков осуществляется примерно так же, как наше проникновение через толщу клетки... но в обратном порядке! Белки и молекулы запаковываются в мембранные «сумки», называемые везикулами. Везикулы выносят их изнутри клетки наружу. Впрочем, они могут переносить молекулы и в пределах клетки – к другим органеллам, например лизосомам. Происходит это благодаря *мембранныму слиянию*.



Так вот почему мы должны были путешествовать в таком необычном пузыре...



Аппарат Гольджи выводит белки из клетки



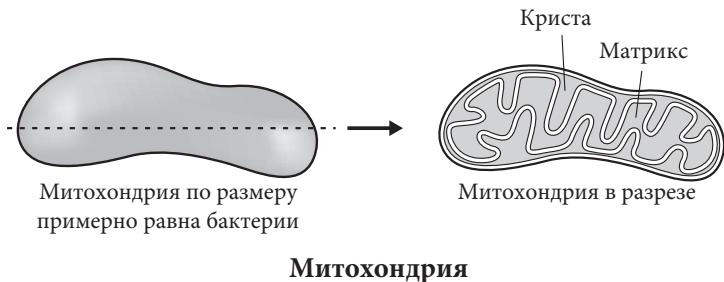
Да. Мы оказались внутри клетки в результате мембранныго слияния.

Мембрана присутствует в самых разных органеллах и выполняет разные функции в пределах одной клетки. Так, в *лизосоме* происходит расщепление крупных молекул на более мелкие части. В каком-то смысле лизосома может считаться «органом пищеварения» клетки, переваривающим слишком крупные для неё образования.

Везикулы под названием *пероксисомы* распределены по всей клетке. Они окисляют вредные для организма объекты, в частности бактерии*, и таким образом их нейтрализуют.

* И вещества. – Прим. ред.

Митохондрия – очень важная клеточная органелла. Она представляет собой что-то вроде «электростанции», производящей энергию, без которой клетка не сможет жить. Таким образом, митохондрии жизненно важны для клеток.



Энергия, которую производит митохондрия, содержится в веществе под названием **АТФ** (аденозинтрифосфат). АТФ создаётся при участии кислорода и пироградной кислоты (пирувата), образующейся после расщепления глюкозы.





Хорошо, митохондрию и аппарат Гольджи я кое-как запомню. Но лизосомы, рибосомы, да ещё пероксисомы... очень трудны для запоминания. Слишком похоже всё это звучит.

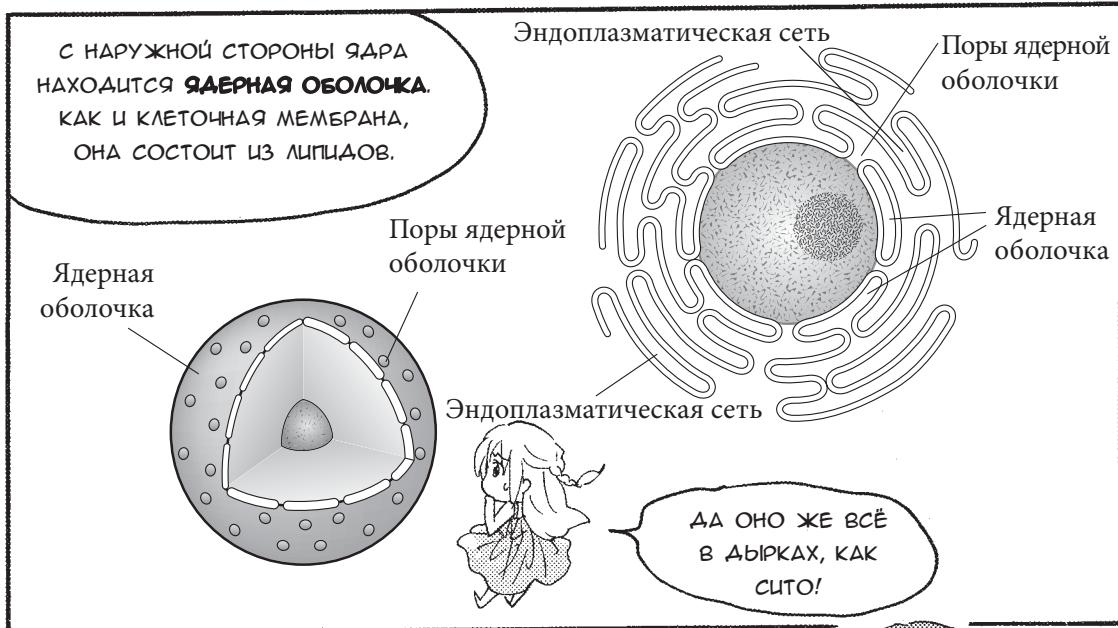


Да, эти названия часто путают. Но если выучить несколько слов на древнегреческом языке, запоминать будет легче. «Сома» – это в переводе с древнегреческого тело; «лизис» – расщепление. *Лизосома* – органелла, расщепляющая молекулы. Приставка «перокси...» указывает на присутствие кислорода. Помните, пероксид (перекись) водорода используется для дезинфекции ран? Вот и пероксисомы с помощью кислорода уничтожают бактерии и всевозможные вредные вещества.

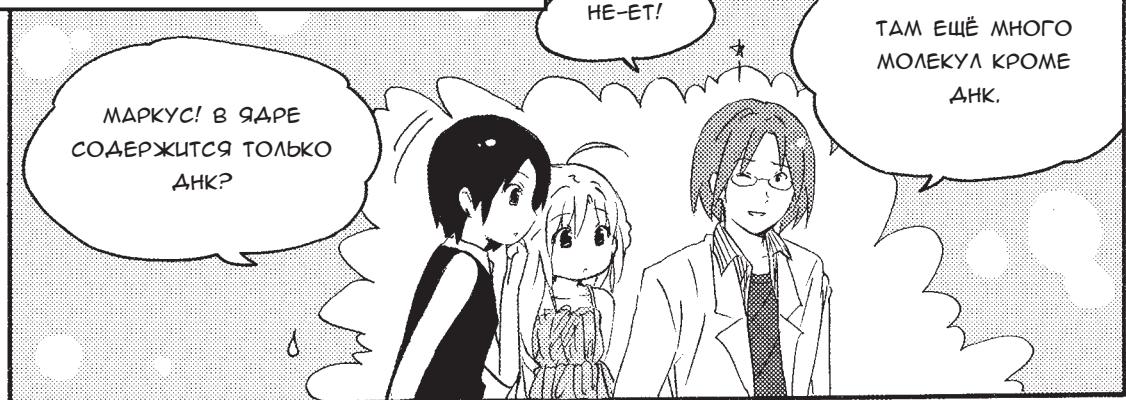
3 ЯДРО – «МОЗГ» КЛЕТКИ

❖ ЗАМЕТНО КРУПНЫЕ ОРГАНЕЛЛЫ

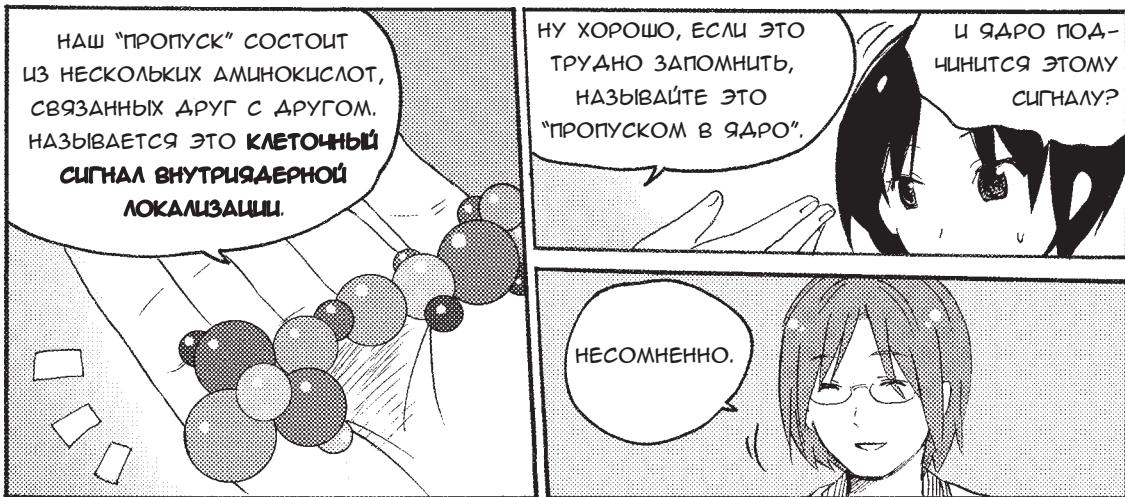


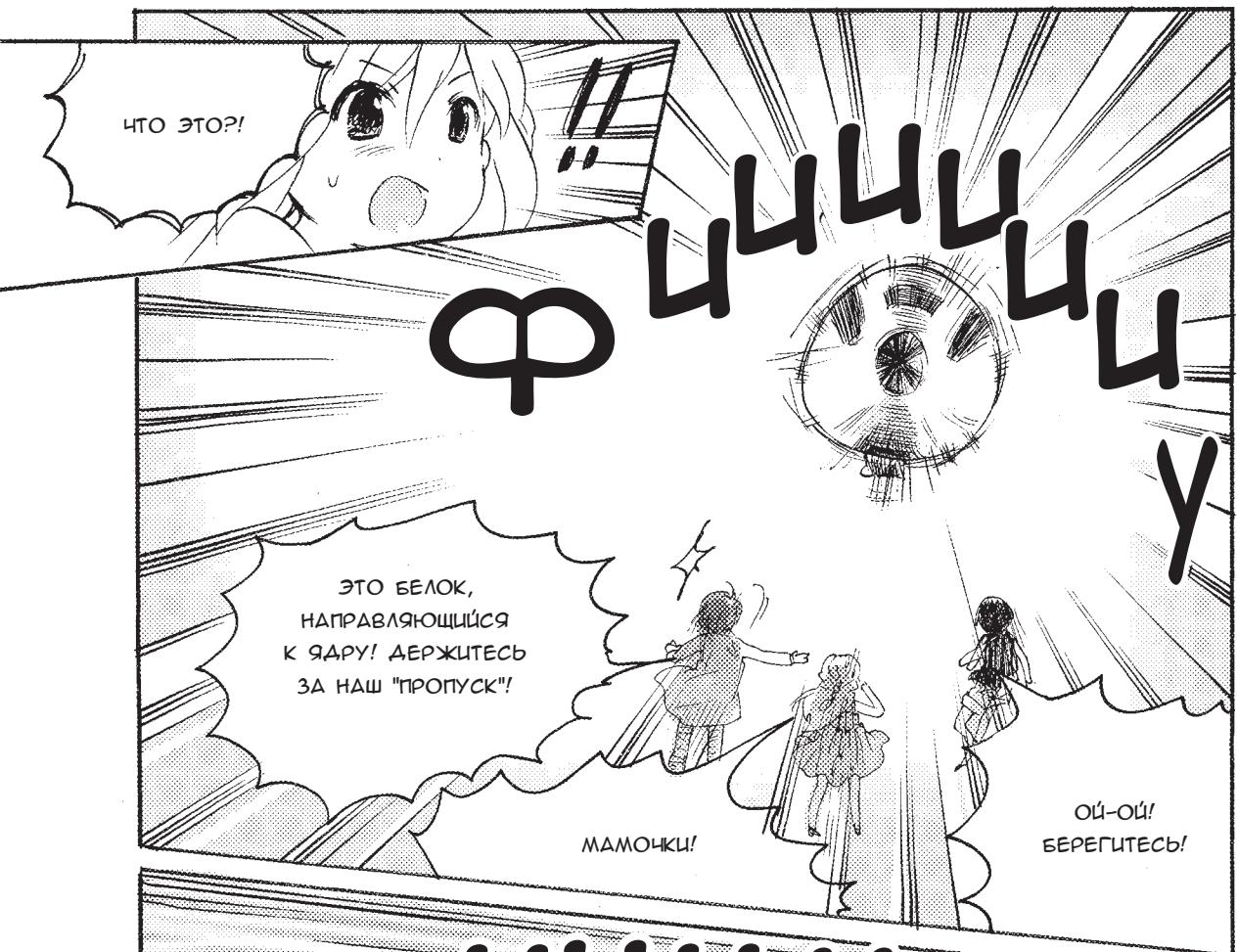


❖ ЧТО НАХОДИТСЯ ВНУТРИ ЯДРА?



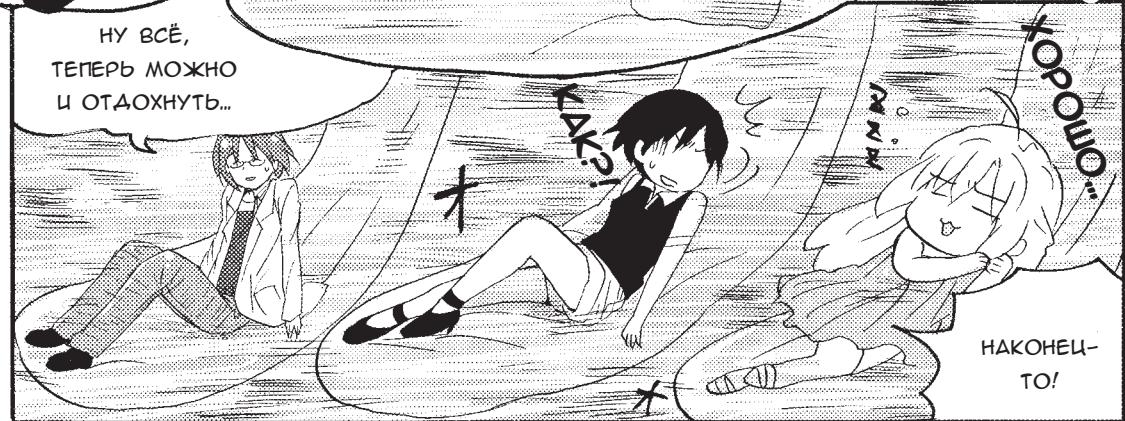
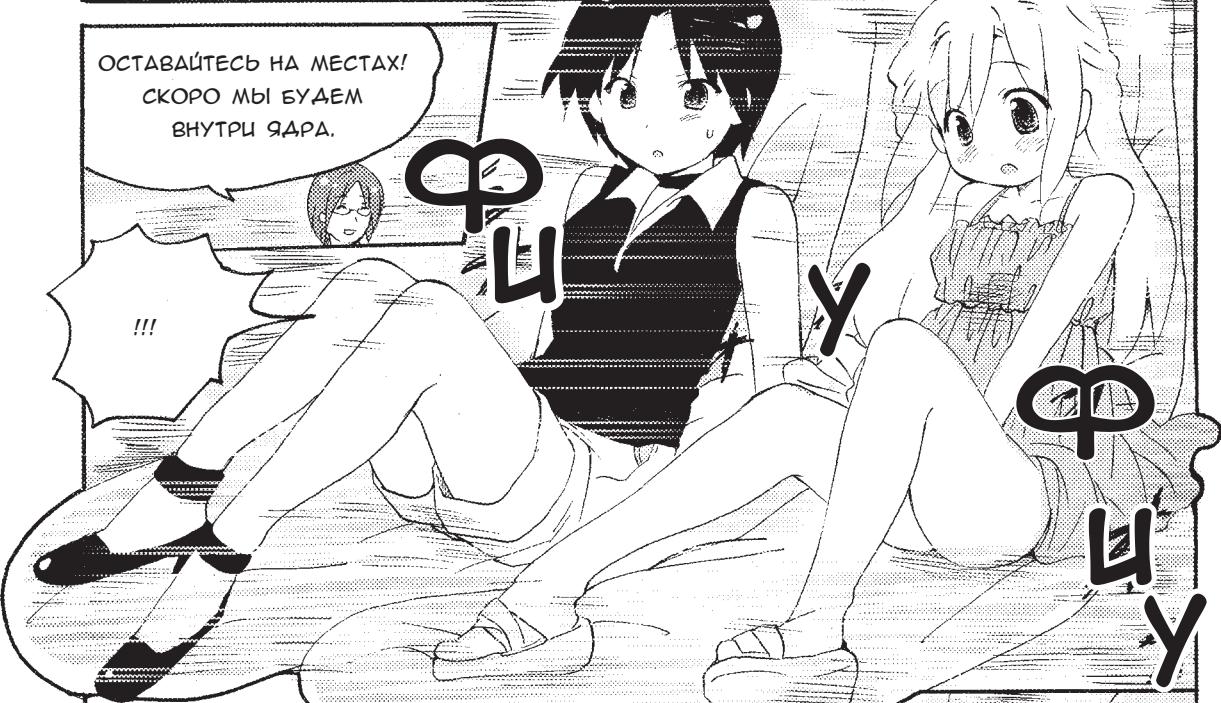
❖ ПОПРОБУЕМ ПРОНИКНУТЬ В ЯДРО





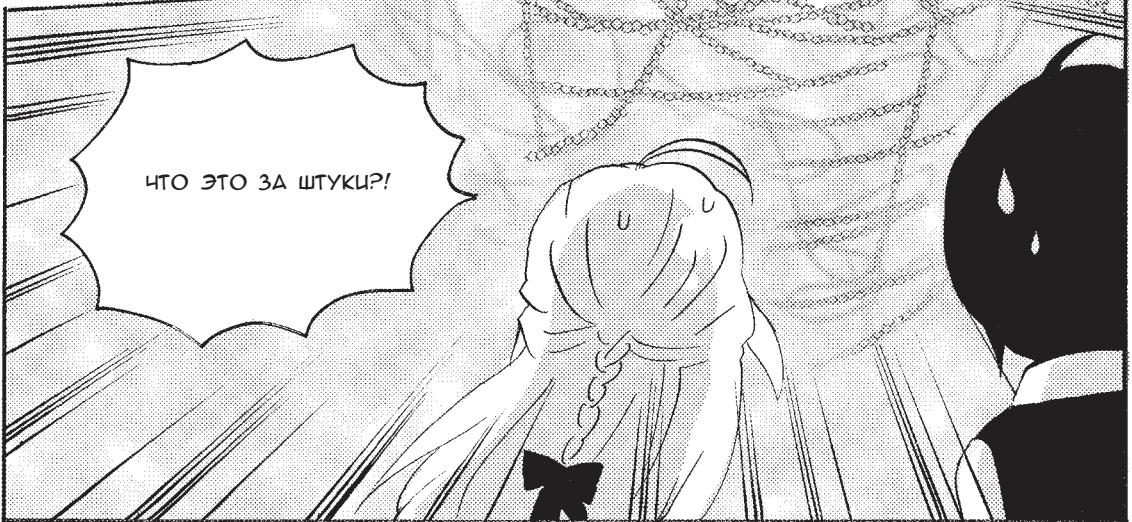
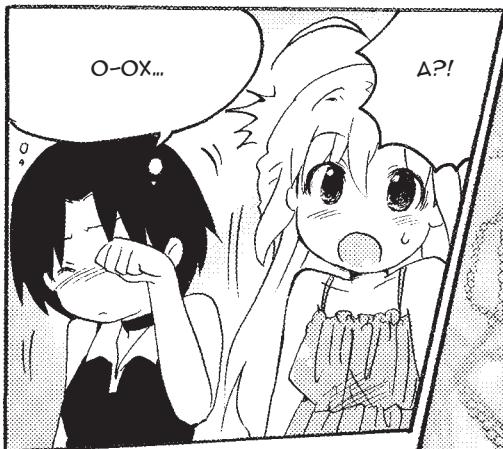
ФИНИШИЧИ

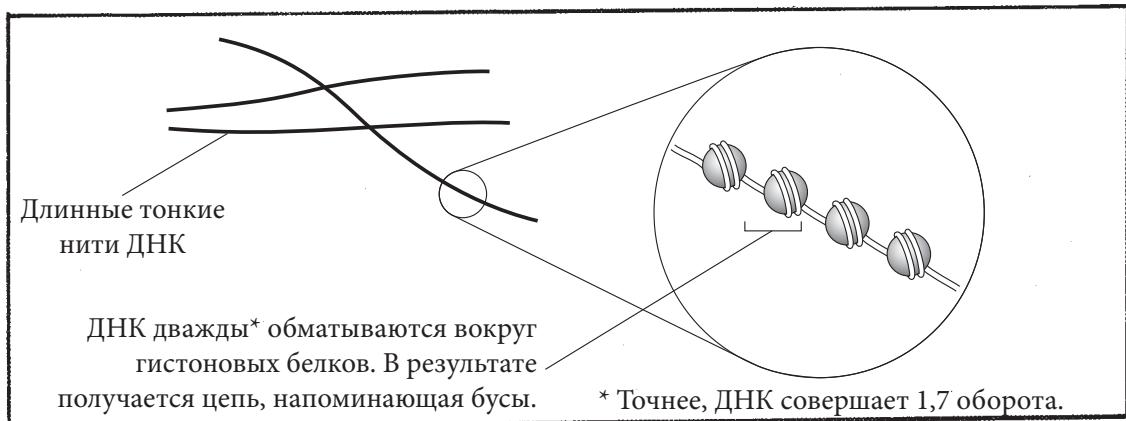
Переброска



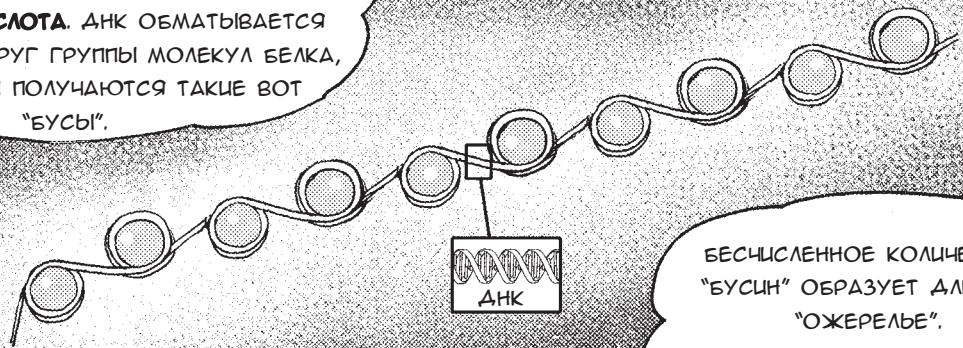
❖ ЧТО ВНУТРИ ЯДРА?

АМИ! РИН! ПРОСЫПАЙТЕСЬ.
ПОРА ПРИСТУПИТЬ
К ИЗУЧЕНИЮ ЯДРА...





ВОТ ЭТО И ЕСТЬ ДНК –
**ДЕЗОКСИРИБОНУКЛЕИНОВАЯ
КИСЛОТА.** ДНК ОБМАТЫВАЕТСЯ
ВОКРУГ ГРУППЫ МОЛЕКУЛ БЕЛКА,
И ПОЛУЧАЮТСЯ ТАКИЕ ВОТ
“БУСЫ”.

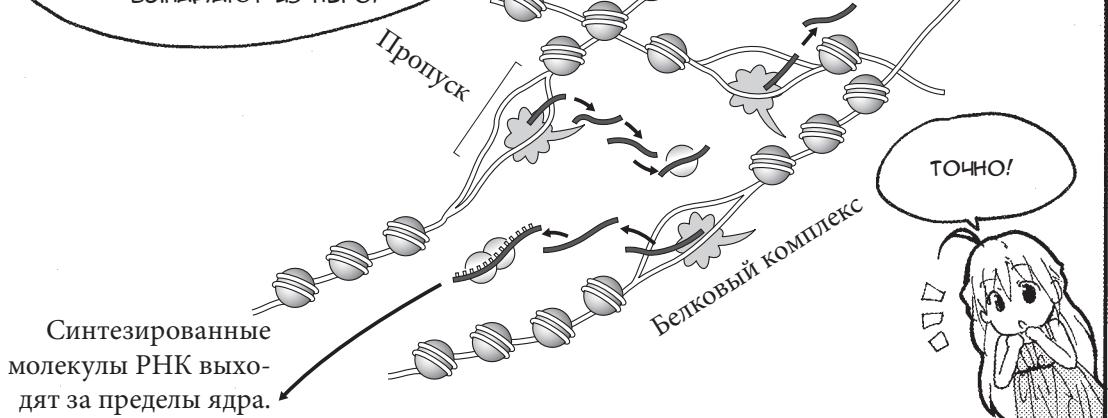


БЕЛКИ, ВОКРУГ КОТОРЫХ
ЗАКРУЧИВАЕТСЯ ДНК,
НАЗЫВАЮТ **ГИСТОНАМИ**,
А САМУ “БУСИНУ” – **НУКЛЕОСОМОЙ**.
ОБ ЭТОМ МЫ ЕЩЁ ПОГОВОРИМ
ПОЗДНЕ (СМ. СТР. 148).



ДАВАЙТЕ УКРУПНИМ ИЗОБРАЖЕНИЕ.
ВИДЕТЕ, В “ОЖЕРЕЛЬЕ”
ТО ТУТ, ТО ТАМ ОБРАЗУЮТСЯ
ПРОБЕЛЫ? ОТДЕЛЬНЫЕ “БУСИНЫ”
ВЫПАДАЮТ ИЗ НЕГО.

Синтезированные молекулы РНК
выходят за пределы ядра.



МЫ СЕЙЧАС МОЖЕМ НАБЛЮДАТЬ,
КАК ИНФОРМАЦИЯ ИЗ ДНК
КОПИРУЕТСЯ В РНК. ВИДЕТЕ ЭТИ
ТЁМНЫЕ "ЧИТОЧКИ", КОТОРЫЕ
ВЫЛЕТАЮТ ИЗ "ОЖЕРЕЛЬЯ"
В МЕСТЕ РАЗРЫВА?

ОНИ ВЫСКА-
КИВАЮТ!

И ВОН ТАМ!

ЭТО РНК! ТАКОЕ ВПЕЧАТЛЕНИЕ,
ЧТО ОНИ ПОВСЮДУ...

мРНК

Ядро

Ядерная оболочка

Комплекс ядерной поры

ПОСЛЕ ТОГО КАК ЭТИ
ТОНЕНЬКИЕ "ЧИТОЧКИ" ВЫПРЫГИВАЮТ
ИЗ "ОЖЕРЕЛЬЯ", ОНИ ПРИКРЕПЛЯЮТСЯ
К ОПРЕДЕЛЁННЫМ БЕЛКАМ И АВИЖУТ-
СЯ К ПОРАМ В ЯДЕРНОЙ ОБОЛОЧКЕ.

ПОТОМ ОНИ ПРОНИКАЮТ
В ЦИТОПЛАЗМУ КЛЕТКИ...

В-3-3-3.

ПОХОЖЕ НА ФАБРИКУ.
ГOTОВАЯ ПРОДУКЦИЯ НЕ
ЗАДЕРЖИВАЕТСЯ В ЦЕХЕ...

ДА, ВПЛОНЕ
ПОАХОДЯЩЕЕ
СРАВНЕНИЕ.

ПОМНИТЕ, Я СКАЗАЛ, ЧТО ГЕН
ЯВЛЯЕТСЯ "МАТРИЦЕЙ"
ДЛЯ БЕЛКА?

М-ДА...

ВЫ ЕЩЁ СКАЗАЛИ,
ЧТО ГЕНЫ
СОДЕРЖАТСЯ В ДНК.



О ТОМ, КАК ЭТИ "ШАБЛОНЫ"
ФОРМИРУЮТСЯ, Я РАССКАЖУ
ЧУТЬ ПОЗДНЕЕ. ПОКА ЧТО
ПРОСТО ЗАПОМНИТЕ, ЧТО
ИНФОРМАЦИЯ О ПОСТРОЕНИИ
БЕЛКОВ ЗАПИСАНА В ГЕНАХ.



МОЖНО РАССМАТРИВАТЬ ДНК
КАК СВОЕОБРАЗНЫЙ АРХИВ, ГДЕ
ХРАНЯТСЯ МНОЖЕСТВО ЗАПИСЕЙ,
С КОТОРЫХ МОЖНО СНИМАТЬ
КОПИИ. А РНК – СНИМКИ С ЭТИХ
ЗАПИСЕЙ, АКТУАЛЬНЫЕ
ИНСТРУКЦИИ.



НУ ДА! В КОНЦЕ
КОНЦОВ, НЕЛЬЗЯ ЖЕ
СДЕЛАТЬ ПИРОГ,
НЕ ЗНАЯ РЕЦЕПТА.



КОНЕЧНО.

ДНК – ЧТО-ТО ВРОДЕ
КУЛИНАРНОЙ КНИГИ, СОДЕРЖАЩЕЙ
МНОЖЕСТВО РЕЦЕПТОВ (ГЕНОВ).
ЧТОБЫ МОЖНО БЫЛО ИМИ
ВОСПОЛЬЗОВАТЬСЯ, ОНИ ДЛЯ
НАЧАЛА КОПИРУЮТСЯ
В РНК...

РНК
Инструкция
по производству белка

Белки, создаваемые
по указаниям,
содержащимся в РНК

Рибосома – место
производства белка

ДНК
ДНК – архив с записями

ДНК
РНК
Транскрипция
РНК – «руководство
по созданию белка»

...И ДОСТАВЛЯЮТСЯ
В ЦИТОПЛАЗМУ, ГДЕ
РИБОСОМЫ СОЗДАЮТ БЕЛКИ
НА ОСНОВАНИИ ПОЛУЧЕННЫХ
"ИНСТРУКЦИЙ".



УПРАВЛЕНИЕ СИНТЕЗОМ БЕЛКОВ –
ОДНИМ ИЗ ГЛАВНЫХ ПРОЦЕССОВ,
ПРОТЕКАЮЩИХ В КЛЕТКАХ, –
ОСУЩЕСТВЛЯЕТСЯ В ЯДРЕ ЗА СЧЁТ
ЭКСПРЕССИИ ГЕНОВ. ЯДРО "РЕШАЕТ",
КАКИЕ ТИПЫ БЕЛКА СОЗДАВАТЬ,
А КАКИЕ НЕТ.

– Выполняйте!



Ядро

Белок

– Ешь!

ПОЭТОМУ-ТО МЫ
И НАЗЫВАЕМ ЯДРО
"МОЗГОМ" КЛЕТКИ.

ПОНЯТНО...

КСТАТИ...

???

...Я ВИЖУ, АМИ СНОВА
СПИТ. ТАК ЧТО, МАРКУС,
ПОВТОРИ ЭТО ЕЩЁ РАЗ –
ЛИЧНО ДЛЯ НЕЁ.

Уф-ф...

Пши-и...

ГР-Р-Р! И КОГДА ОНА
ТОЛЬКО УСПЕЛА
ЗАСНУТЬ??!

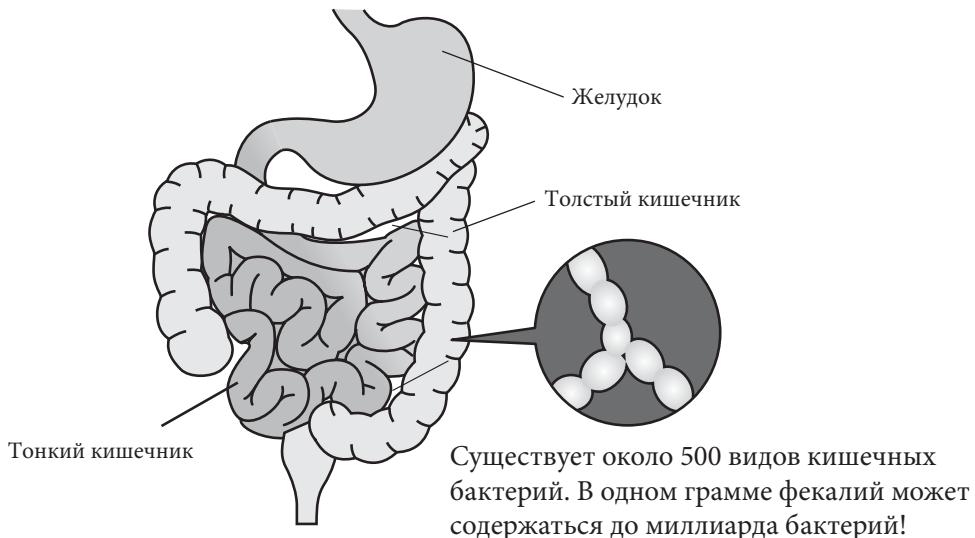
ОДНОКЛЕТОЧНЫЕ И МНОГОКЛЕТОЧНЫЕ ОРГАНИЗМЫ



В начале этой главы мы уже говорили об *одноклеточных организмах*. Они могут существовать по отдельности или образовывать колонии.

Как явствует из названия, одноклеточный организм состоит всего из одной клетки. Большинство таких организмов не видны невооружённым глазом. Поэтому вы даже не можете представить, как много таких микроскопических созданий вокруг нас.

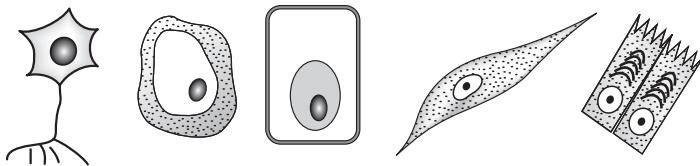
Даже в нашем теле обитают триллионы одноклеточных организмов. Возьмём, к примеру, кишечные бактерии, населяющие тонкий кишечник. Они поглощают питательные вещества из переваренной пищи, а кроме того, препятствуют размножению вредных бактерий, которые могут вызывать всевозможные заболевания. Таким образом, наши отношения с кишечными бактериями можно назвать взаимовыгодными, или, выражаясь научным языком, *сymbiotическими*.





Бактерии – всего лишь один из видов одноклеточных организмов. Есть и другие, например инфузории-туфельки и амёбы, относящиеся к простейшим.

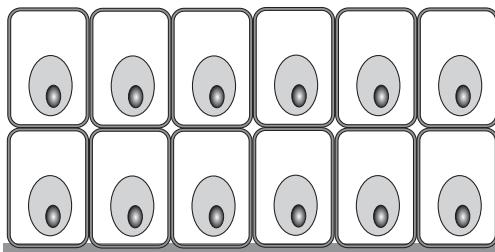
Организмы, состоящие из многих клеток, называются, как вы уже догадались, многоклеточными. Большинство живых существ, которые различимы для человеческого глаза, относятся к многоклеточным. Это деревья, мхи, насекомые, собаки, слоны... ну и, конечно, сами люди.



Разные типы клеток



Клетки, из которых состоят органы нашего тела (например, нервы, желудок, кожа), различаются по форме и размеру. Соединяясь друг с другом, однородные клетки формируют *ткань*. В организме животных и человека встречаются преимущественно четыре вида тканей: эпителиальная, соединительная, мышечная и нервная.



Клетки собираются вместе, образуя живые ткани

Эпителиальная ткань (эпителий) формирует кожный покров, а также оболочки внутренних органов, например кишечника. Различают плоский, покровный и секреторный эпителий.

Соединительная ткань выполняет разные задачи. Она соединяет друг с другом клетки, ткани и органы. Связки и сухожилия, образуемые волокнистой соединительной тканью, соединяют мышцы с костями. В соединительной ткани содержится очень много коллагена – особого типа белка, который придаёт ей эластичность. Кровь, кости и жировая ткань – это тоже разновидности соединительной ткани.

Мышечная ткань, как явствует из названия, формирует мышцы – в частности, скелетную мускулатуру, сердечную мышцу и мышцы внутренних органов.

Нервная ткань формирует нервы, совокупность которых представляет собой нервную систему. Нервные клетки при помощи электрических импульсов посылают сигналы из мозга различным органам тела (и наоборот, от органов в мозг).



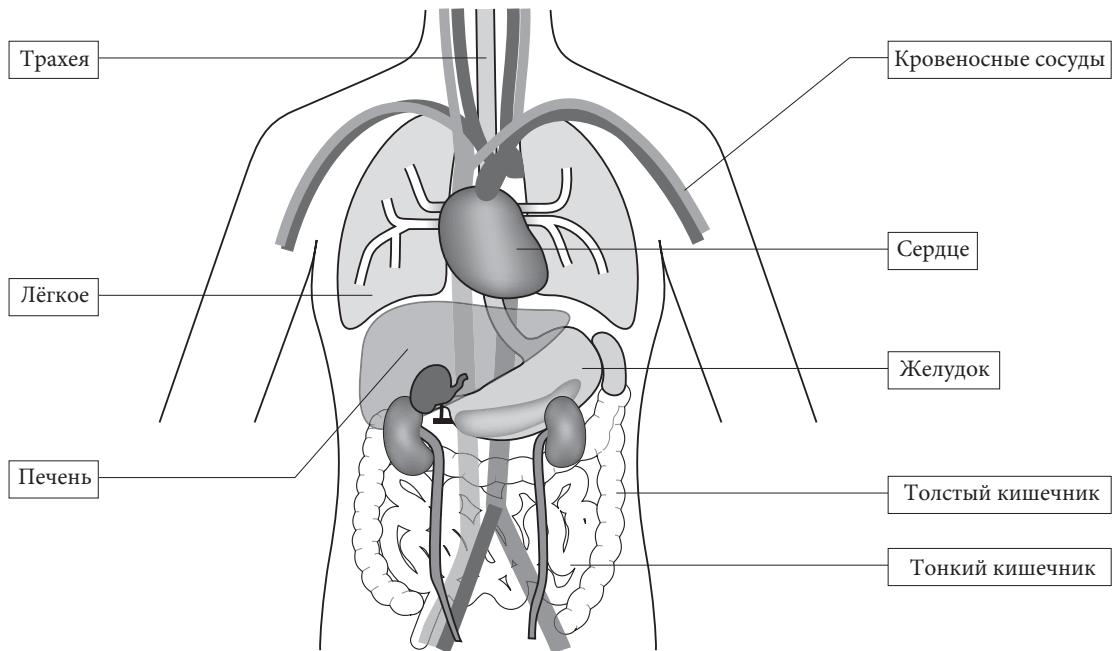
Ткани желудка



Орган – это группа тканей, выполняющих определённую роль в организме. При этом ткани соединяются друг с другом в заданном порядке.

Как показано на рисунке выше, желудок состоит из четырёх типов ткани. Другие органы формируются примерно по этому же принципу и, в свою очередь, группируются в *системы*.

Итак, в многоклеточных организмах клетки объединяются в ткани, ткани – в органы, органы – в системы. Так что можно сказать, что на каждую крохотную клеточку возложены большие обязательства!



Органы пищеварительной системы: рот, глотка, пищевод, желудок, тонкий кишечник, толстый кишечник, прямая кишка, анус, печень, жёлчный пузырь, поджелудочная железа.

Органы системы кровообращения: сердце, аорта, артерии, вены, лимфатические сосуды.

Органы дыхательной системы: ноздри, гортань, трахея, бронхи, лёгкие.

5

ПРОКАРИОТЫ И ЭУКАРИОТЫ



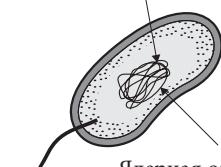
Вы уже знаете, что организмы принято делить на одноклеточные и многоклеточные. Но есть и другая классификация – по наличию/отсутствию четко оформленного ядра в клетке. Организмы, в клетках которых отсутствуют ядра, называются *прокариотами*, остальные – *эукариотами*.



Как это? Ядро ведь является «мозгом» клетки. Разве можно без него обойтись?

Да, поначалу кажется, что это невозможно. Но вспомните, почему ядро называют «мозгом» клетки. Потому что там хранится ДНК и, соответственно, ядро отвечает за экспрессию генов, записанных в ДНК! Но что если ДНК содержится в безъядерной клетке и при этом экспрессия генов осуществляется должным образом? Именно так и существуют прокариотические организмы. Собственно говоря, к ним относятся только бактерии. Все важные клеточные процессы у них протекают в цитоплазме, а не в органеллах.

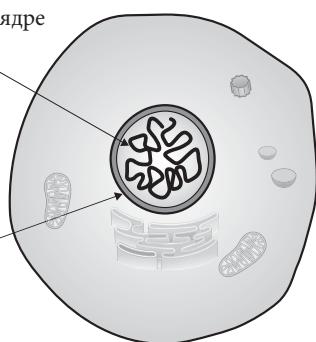
ДНК содержится в цитоплазме клетки
(тело нуклеоида)



Прокариотический организм

ДНК в ядре

Ядерная
оболочка



Эукариотический организм

Если в клетке существует явно выраженное ядро, окружённое мембраной, то перед нами эукариотический организм. К этой группе относятся, во-первых, все одноклеточные организмы за исключением бактерий. Простейшие (например, инфузории-туфельки) – это эукариоты.



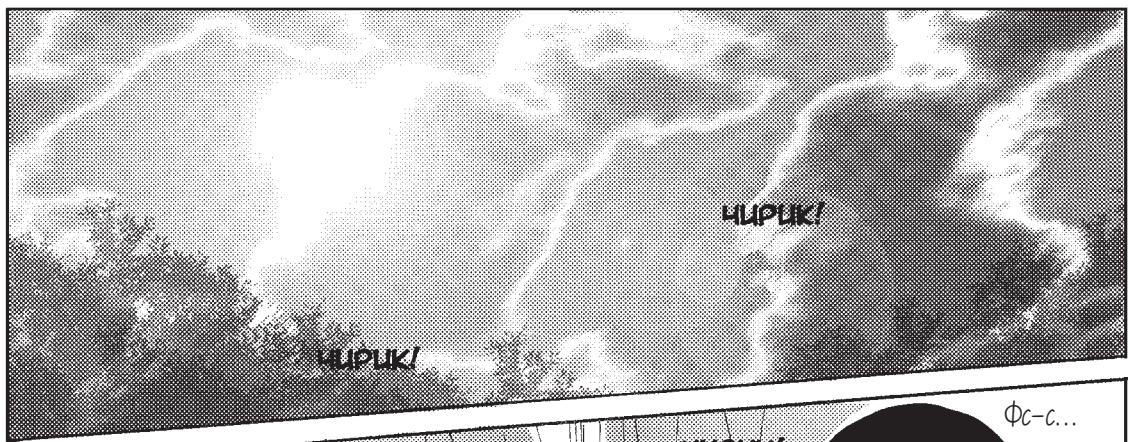
Возможно, вас смущают сложные научные термины. Не проще ли было называть организмы «безъядерными» и «ядросодержащими»? На самом деле это было бы не совсем верно. Хотя прокариоты не имеют ядра, у них есть структура, которая фактически берёт на себя его функции. Область, в которой содержится ДНК (так называемое нуклеоидное тело) отделена от окружающего её цитозоля. Термин «прокариот», который переводится с латыни как «доядерный», точнее обозначает организм, в котором имеется некая замена ядру, хотя и более примитивная, не окружённая ядерной оболочкой.

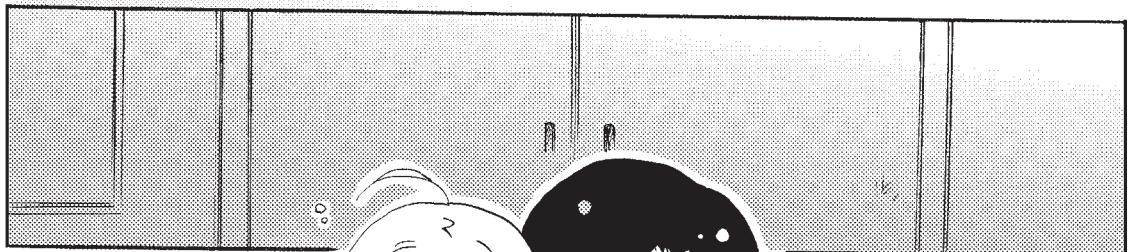
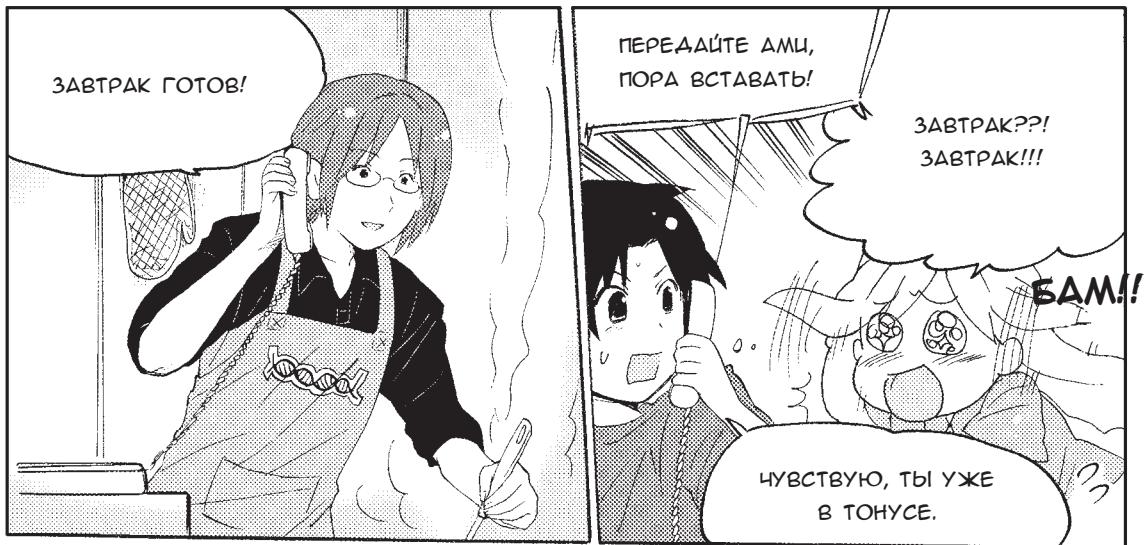
В строгом смысле термин «ядро» обозначает органеллу, окружённую мембраной, которая дополнительно защищает генетическую информацию в клетках ядерных организмов. Ядерная оболочка весьма тонка, и всё-таки это очень важный элемент!

2

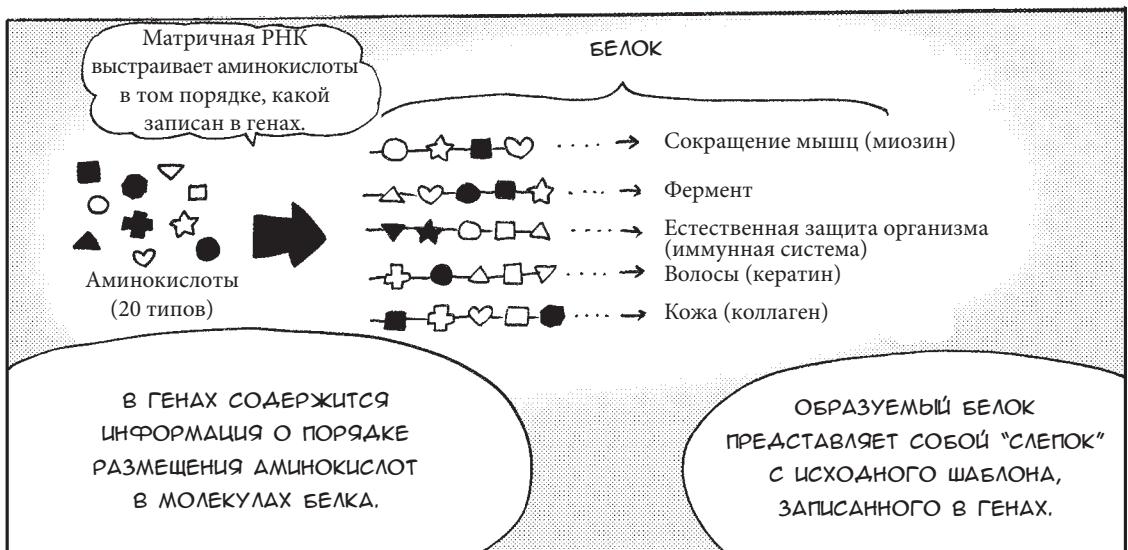
БЕЛКИ И ДНК:
РАСШИФРОВКА
ГЕНЕТИЧЕСКОГО
КОДА

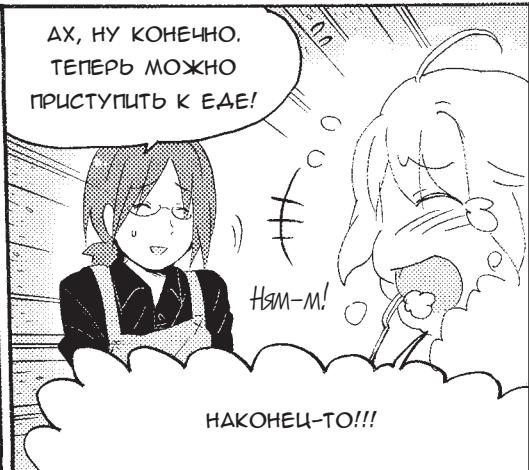
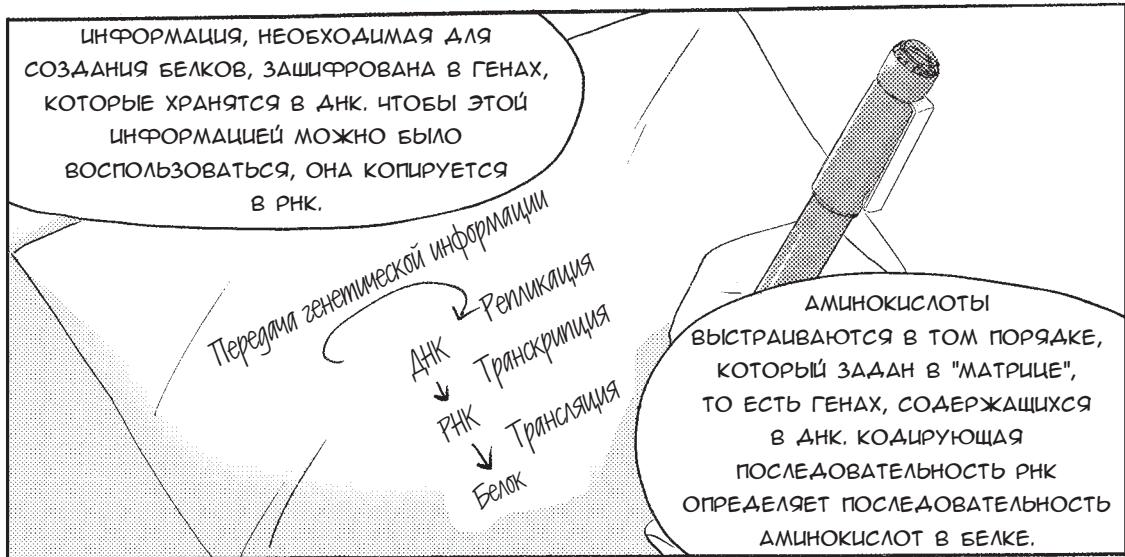
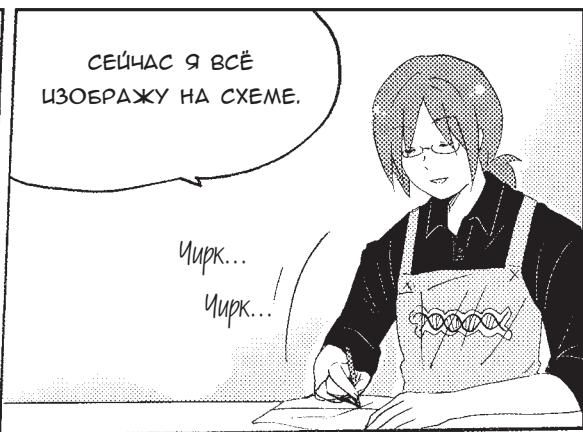
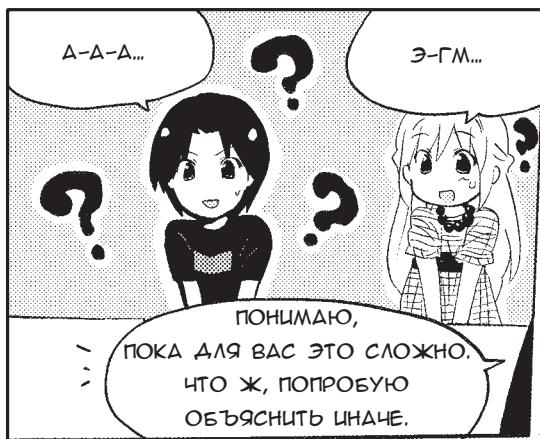
Джон









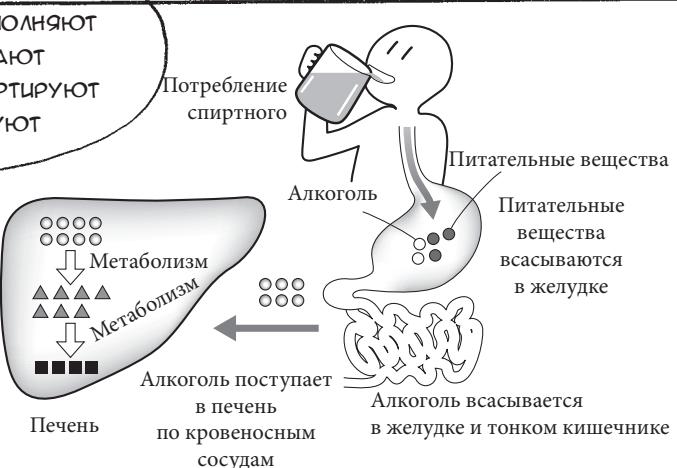


1 БЕЛКИ РЕГУЛИРУЮТ КЛЕТОЧНУЮ АКТИВНОСТЬ

❖ ЧТО ТАКОЕ КЛЕТОЧНАЯ АКТИВНОСТЬ?



НУ, НАПРИМЕР, КЛЕТКИ ПЕЧЕНИ ВЫПОЛНЯЮТ НЕСКОЛЬКО ЗАДАЧ: НАКАПЛИВАЮТ ПИТАТЕЛЬНЫЕ ВЕЩЕСТВА, ТРАНСПОРТИРУЮТ ИХ В ОРГАНИЗМ И НЕЙТРАЛИЗУЮТ АЛКОГОЛЬ.



КЛЕТКИ МЫШИ, НАПРИМЕР БИЦЕПСОВ, КОНТРОЛИРУЮТ ДВИЖЕНИЯ, ОБУСЛОВЛЕННЫЕ СОКРАЩЕНИЕМ И РАССЛАБЛЕНИЕМ МЫШИ.



КОРОЧЕ ГОВОРЯ,
КЛЕТКА КЛЕТКЕ
РОЗНЬ!

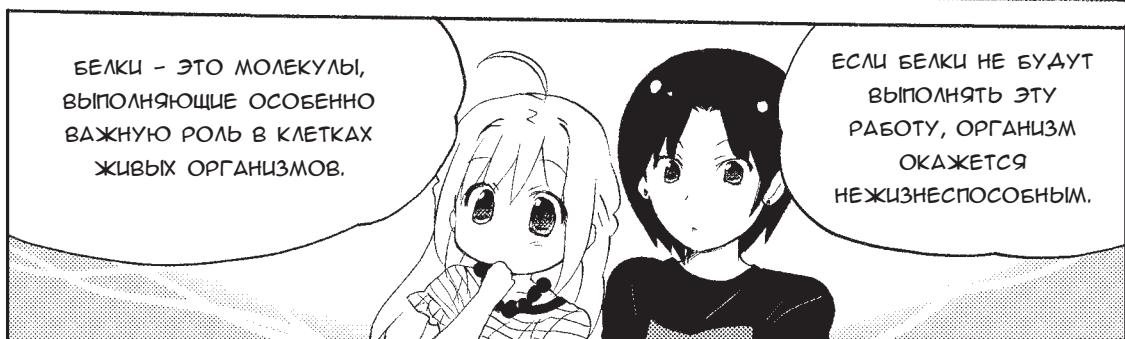


ТОЧНО.
А КОНКРЕТНЫЕ ФУНКЦИИ КЛЕТОК
ОПРЕДЕЛЯЮТСЯ БЕЛКАМИ,
О КОТОРЫХ МЫ СЕГОДНЯ
И ПОВЕДЁМ РЕЧЬ.



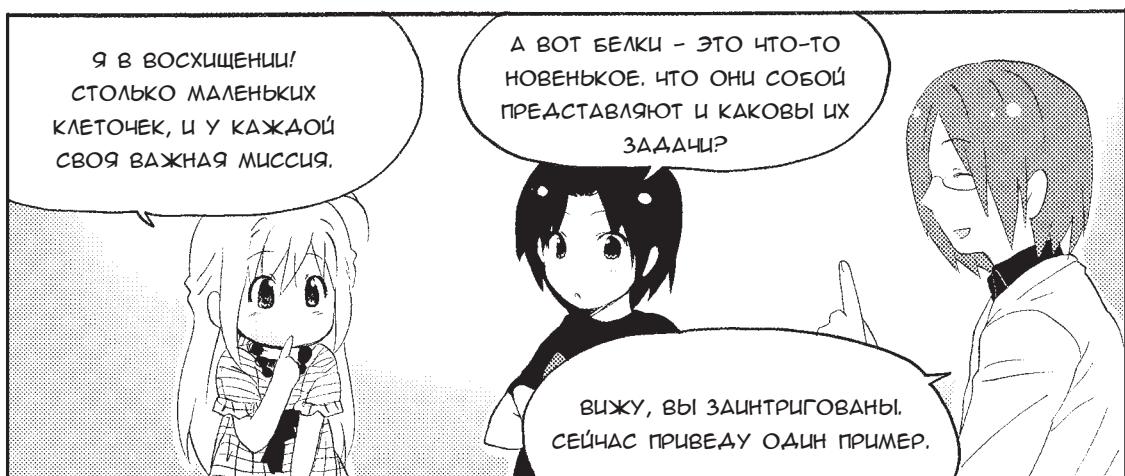
БЕЛКИ – ЭТО МОЛЕКУЛЫ,
ВЫПОЛНЯЮЩИЕ ОСОБЕННО
ВАЖНУЮ РОЛЬ В КЛЕТКАХ
ЖИВЫХ ОРГАНИЗМОВ.

ЕСЛИ БЕЛКИ НЕ БУДУТ
ВЫПОЛНЯТЬ ЭТУ
РАБОТУ, ОРГАНИЗМ
ОКАЖЕТСЯ
НЕЖИЗНЕСПОСОБНЫМ.



Я В ВОСХИЩЕНИИ!
СТОЛЬКО МАЛЕНЬКИХ
КЛЕТОЧЕК, И У КАЖДОЙ
СВОЯ ВАЖНАЯ МИССИЯ.

А ВОТ БЕЛКИ – ЭТО ЧТО-ТО
НОВЕНЬКОЕ, ЧТО ОНИ СОБОЙ
ПРЕДСТАВЛЯЮТ И КАКОВЫ ИХ
ЗАДАЧИ?



ВИЖУ, ВЫ ЗАИНТЕРЕСОВАНЫ.
СЕЙЧАС ПРИВЕДУ ОДИН ПРИМЕР.

❖ ВЗРЫВНАЯ СИЛА ФЕРМЕНТОВ

МНОГИЕ ФЕРМЕНТЫ - БЕЛКИ ОСОБОГО ТИПА - ОТВЕЧАЮТ ЗА РАСЩЕПЛЕНИЕ КРАХМАЛА. САМИ, ЭТО ТО САМОЕ ВЕЩЕСТВО, КОТОРОЕ СОДЕРЖИТСЯ В ТВОЁМ ЛЮБИМОМ РИСЕ!)

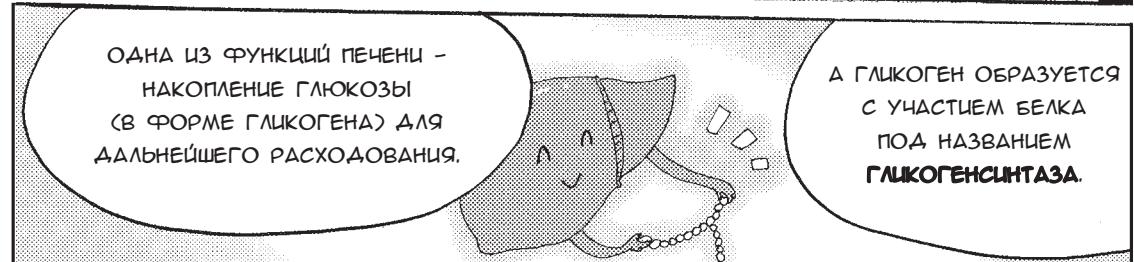
ЧТОБЫ ДВИГАТЬСЯ И ДУМАТЬ, ЖИВЫМ СУЩЕСТВАМ НУЖНА ЭНЕРГИЯ. ОНИ ГЕНЕРИРУЮТ ЕЁ БЛАГОДАРЯ РАСЩЕПЛЕНИЮ КРАХМАЛА. В РЕЗУЛЬТАТЕ ОБРАЗУЕТСЯ ГЛЮКОЗА. ИМЕННО ЕЁ МЫ ИМЕЕМ В ВИДУ, КОГДА ГОВОРИМ О САХАРЕ В КРОВИ.



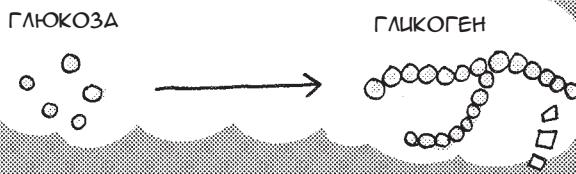
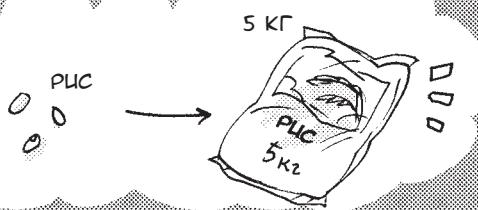
КРАХМАЛ, СОДЕРЖАЩИЙСЯ В ПРОДУКТАХ ПИТАНИЯ - РИСЕ, ХЛЕБЕ, ЛАПШЕ, - УСВАИВАЕТСЯ ОРГАНИЗМОМ И ПРЕВРАЩАЕТСЯ В ГЛЮКОЗУ. А ОНА В СВОЮ ОЧЕРЕДЬ ПЕРЕНОСИТСЯ ВО ВСЕ ОРГАНЫ.

ОДНА ИЗ ФУНКЦИЙ ПЕЧЕНИ - НАКОПЛЕНИЕ ГЛЮКОЗЫ (В ФОРМЕ ГЛИКОГЕНА) ДЛЯ ДАЛЬНЕЙШЕГО РАСХОДОВАНИЯ.

А ГЛИКОГЕН ОБРАЗУЕТСЯ С УЧАСТИЕМ БЕЛКА ПОД НАЗВАНИЕМ ГЛИКОГЕНСИНТАЗА.



ЧТОКА, ГЛИКОГЕН ОБРАЗУЕТСЯ
ИЗ ИЗЛИШКОВ ГЛЮКОЗЫ.
ОН ОТКЛАДЫВАЕТСЯ
В КЛЕТКАХ ПЕЧЕНИ
И МЫШИ.



ГЛЮКОЗУ МОЖНО СРАВНИТЬ
СО СВАРЕННЫМ РИСОМ,
ГOTОВЫМ К УПОТРЕБЛЕНИЮ, А
ГЛИКОГЕН – С РИСОМ В ЗЕРНАХ.

ЕСЛИ ВЫ ГОЛОДНЫ И УРОВЕНЬ ГЛЮКОЗЫ
(СИНАЧЕ ГОВОРЯ, УРОВЕНЬ САХАРА)
В КРОВИ ПАДАЕТ, ТО СПЕЦИАЛЬНЫЕ БЕЛКИ
ПРЕОБРАЗУЮТ ГЛИКОГЕН В ГЛЮКОЗУ,
И ОНА РАЗНОСИТСЯ ПО ВСЕМУ
ОРГАНИЗМУ.

ТА-АК...

ГЛИ... ГЛИКОГЕН...
ГЛЮ... ГЛЮКОЗА...

МАРКУС!
АМИ СНОВА
ПЕРЕГРЕЛАСЬ!

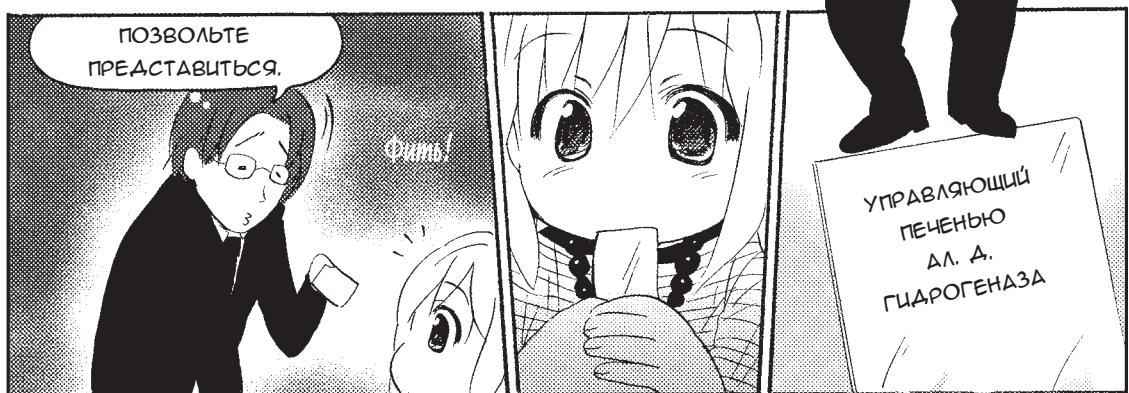
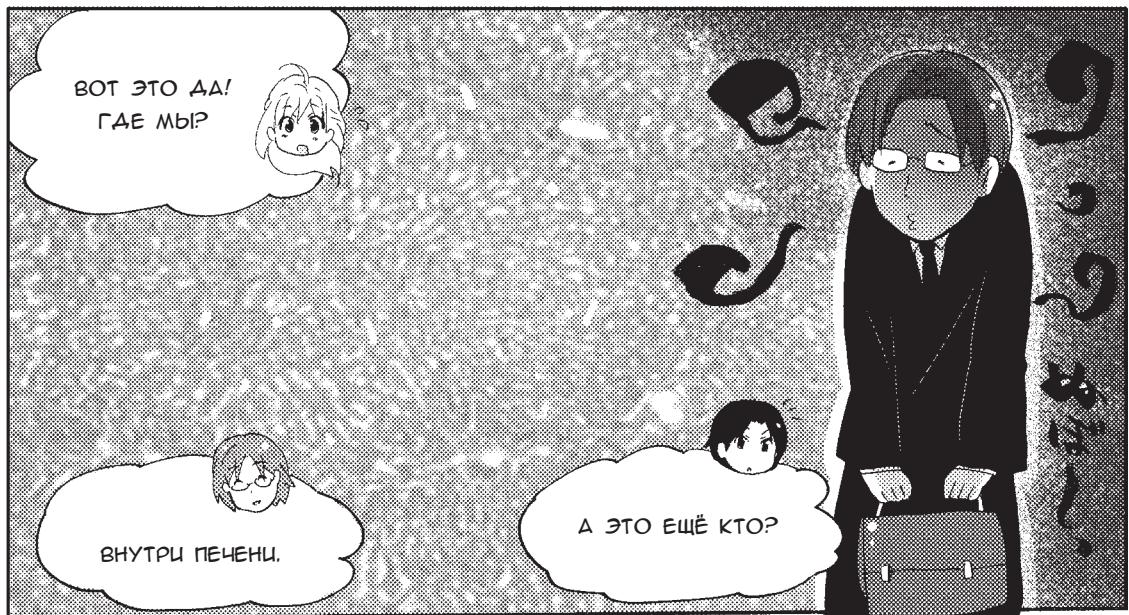
ОХ!!

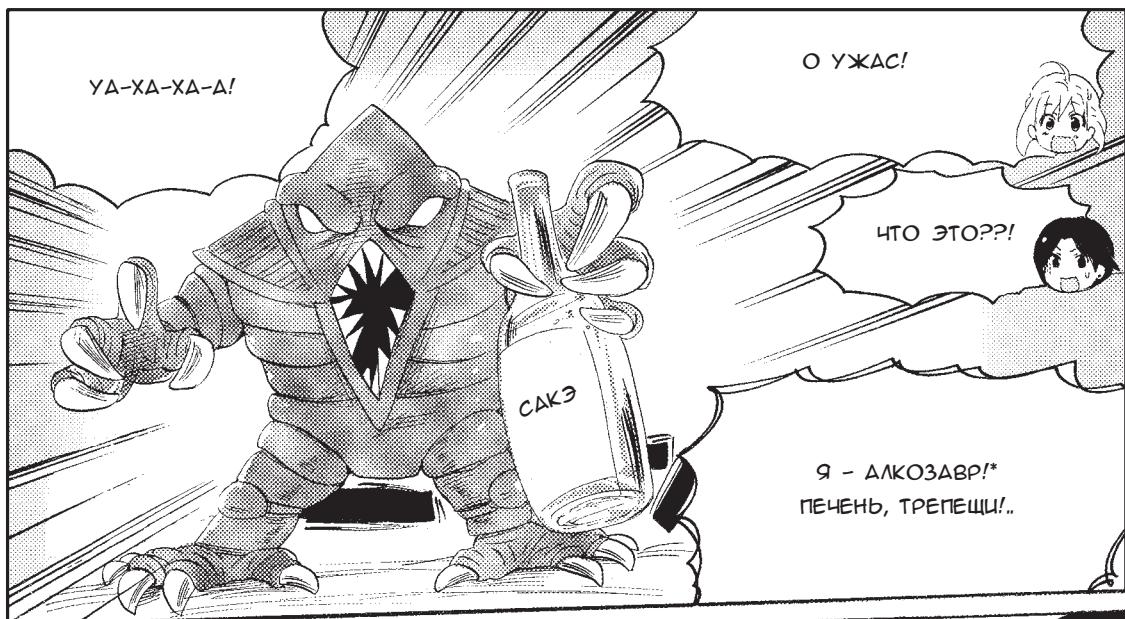
ЛДАНО, ПРЕРВЁМ ЛЕКЦИЮ
И ПРОКАТИМСЯ НА НАШЕЙ
ЧУДО-МАШИНЕ.
ПОСМОТРИМ, КАК
РАБОТАЮТ БЕЛКИ.

УСПОКОЙСЯ. ВОТ
ТЕБЕ НЕМНОГО
ГЛЮКОЗЫ!

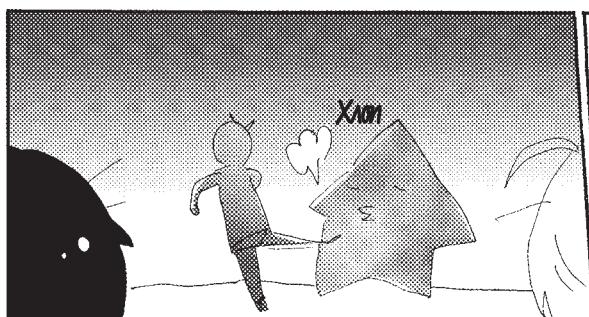
ВЖИХ!

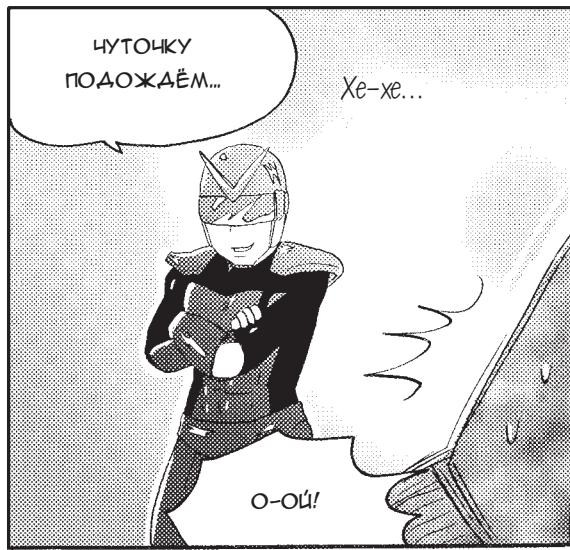
* ГЛИКОГЕН НАКАПЛИВАЕТСЯ ПОЧТИ ВО ВСЕХ ЖИВЫХ КЛЕТКАХ. ОДНАКО В КЛЕТКАХ
ПЕЧЕНИ И МЫШИ ОН ПРИСУТСТВУЕТ В ОСОБЕННО БОЛЬШОЙ КОНЦЕНТРАЦИИ.





* В ЭТОЙ СЦЕНЕ АЛКОЗАВР ПЫТАЕТСЯ ОТРАВИТЬ ОРГАНИЗМ АЛКОГОЛЕМ





В ПЕЧЕНИ МНОГО
ФЕРМЕНТОВ, КОТОРЫЕ
ЗАЩИЩАЮТ ЕЁ ОТ
ТОКСИНОВ, ПОСТУПАЮЩИХ
В ОРГАНИЗМ.



ИТАК, ПОД ДЕЙСТВИЕМ ПЕРВОГО ФЕРМЕНТА АЛКОГОЛЬ ПРЕВРАТИЛСЯ В АЦЕТАЛЬДЕГИДА, А ВТОРОЙ ФЕРМЕНТ ПРЕОБРАЗОВАЛ ЕГО В НЕТОКСИЧНУЮ УКСУСНУЮ КИСЛОТУ.

ВОТ КАКИЕ ХИМИЧЕСКИЕ РЕАКЦИИ КАТАЛИЗИРУЮТ ФЕРМЕНТЫ.

★ Детоксикация алкоголя ★



СМОТРИТЕ, ЭТО ЖЕ БЫВШИЙ АЛКОЗАВР! КАКОЙ СИМПАТИГА!

Ми-ми-ми...

СПАСИБО,
ГОСПОДИН
ФЕРМЕНТ!

ТОП!

Пока-пока!

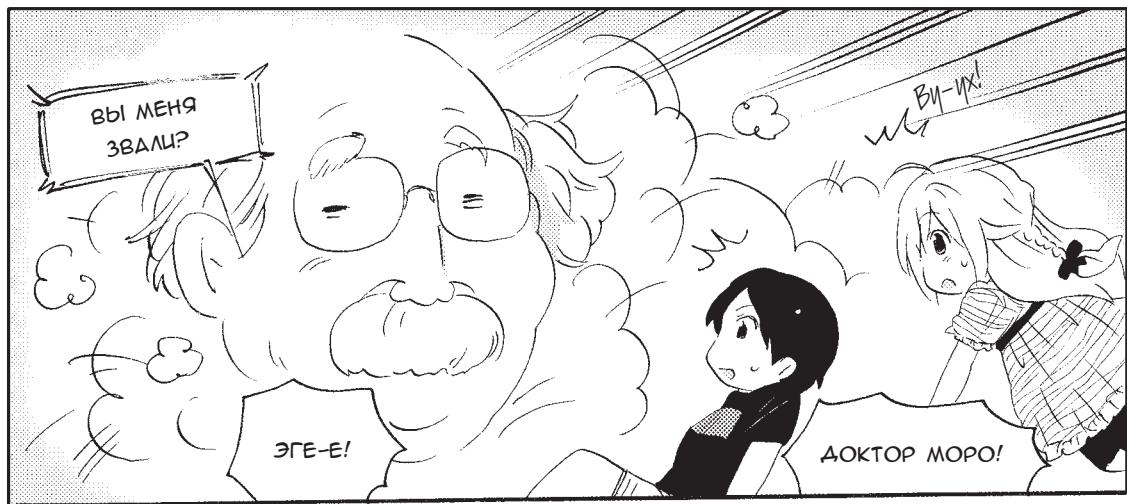
НЕ СТОИТ
БЛАГОДАРНОСТИ.
Я ВСЕГО ЛИШЬ
ВЫПОЛНЯЛ СВОЮ
РАБОТУ!

ЗДОРОВЬЮ ПЕЧЕНИ
НИЧТО НЕ УГРОЖАЕТ!

И ВСЁ БЛАГОДАРЯ
ФЕРМЕНТАМ!

ФЫРКИ!

НУ ВСЁ, С МЕНЯ ДОСТАТОЧНО
СЮРПРИЗОВ! КТО ЭТО
ГОВОРИТ?



❖ БЕЛКИ-ФЕРМЕНТЫ



Ферменты – это белки особого типа, способные ускорять (катализировать) химические реакции. Поэтому все ферменты называются катализаторами, или биокатализаторами. В нашем организме насчитываются десятки тысяч различных белков, но далеко не все из них являются ферментами. Например, те белки, которые являются частью иммунной системы и борются с бактериями, – это не ферменты.

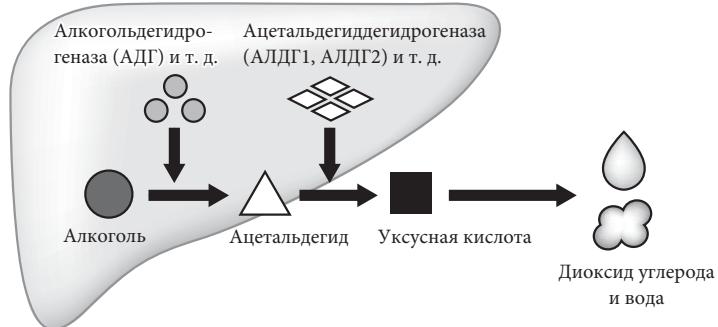
Множество процессов в нашем организме – пищеварение, абсорбция питательных веществ, репликация ДНК – протекает благодаря химическим реакциям. И за каждую из них ответствен определённый фермент. Его роль сводится только к ускорению реакции – сам он в ней не участвует.



Вот почему наш Суперфермент говорил про «атаку катализатора»!



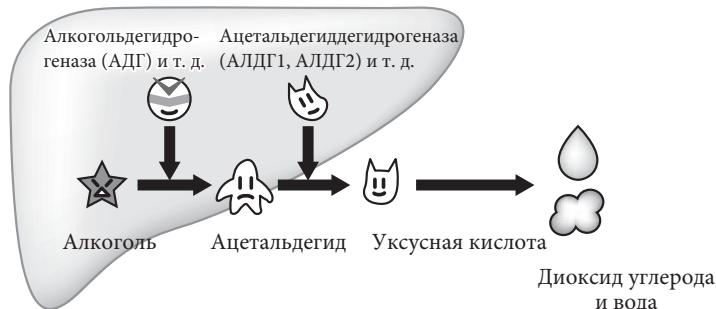
Белки, которые отвечают за накопление глюкозы и детоксикацию алкоголя, являются ферментами. Белок, который позволяет резервировать глюкозу в форме гликогена, называется *гликогенсинтазой*. Белок, расщепляющий алкоголь до безопасного ацетальдегида, называется *алкогольдегидрогеназой*.



Мы уже наблюдали, как алкоголь расщепляется в печени. Один фермент расщепляет его до ацетальдегида, другой – до уксусной кислоты.



Помните, каково настоящего имя Суперфермента? Да, алкогольдегидрогеназа. Он катализирует первую реакцию, а вторую (расщепление ацетальдегида до уксусной кислоты) берёт на себя ацетальдегиддегидрогеназа. Таким образом, для каждой реакции используется особый фермент.

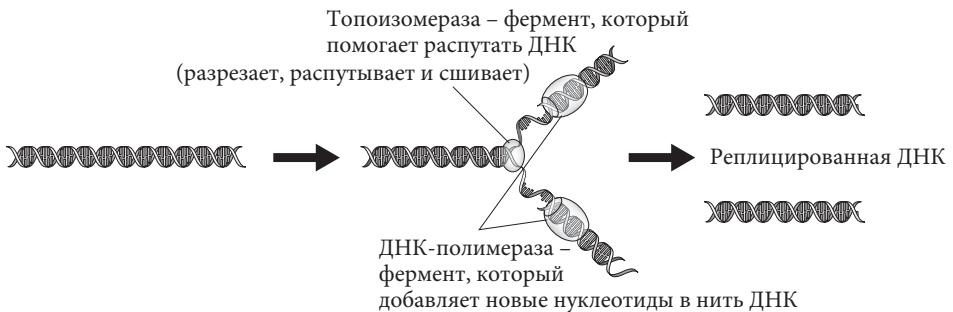


❖ РОЛЬ БЕЛКОВ В ДЕЛЕНИИ КЛЕТОК



Кроме прочего, белки управляют процессом деления клеток. Деление означает, что из одной клетки образуются две. Но перед этим молекула ДНК в ядре тоже должна удвоиться, чтобы она присутствовала и в новой клетке. Этот процесс называется *репликацией ДНК*, и отвечает за него особый фермент.

Когда клетка делится, ей помогают в этом не только ферменты, но и структурные белки. Они придают ей определённую форму и перемещают её содержимое и мембрану таким образом, чтобы подготовить клетку к делению.



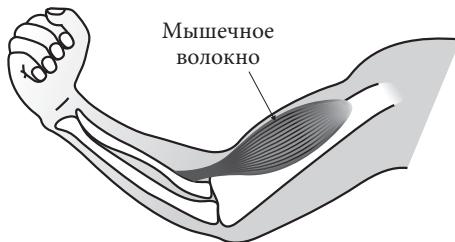
❖ БЕЛКИ И СОКРАЩЕНИЕ МУСКУЛОВ



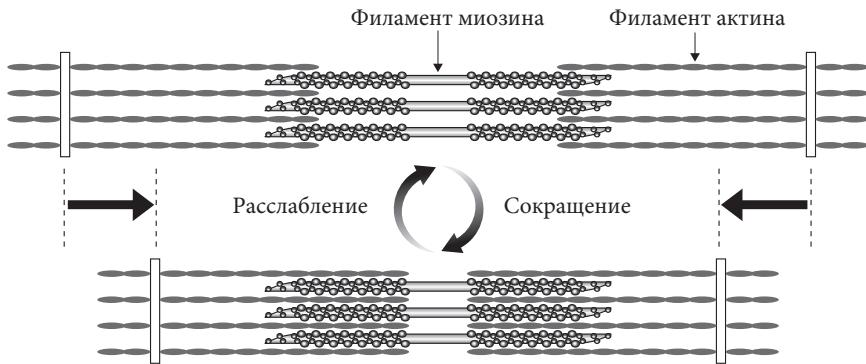
Маркус, а ведь в мышцах тоже есть белки? Например, в бицепсах, о которых вы говорили за завтраком...



Хороший вопрос! Мышцы, в том числе и бицепсы, формируются из мышечной ткани. Это большое скопление мышечных клеток, также называемых *мышечными волокнами*.



Мышечные клетки состоят из двух продолговатых тонких волокон – филаментов *актина* и *миозина*. В составе этих волокон присутствуют белки двух типов (актин и миозин соответственно). Мышца сокращается, когда две системы нитей, образованные актином и миозином, перемещаются относительно друг друга.





Белки поддерживают форму мышц и обеспечивают их движение. Это уже не катализаторы химических реакций, а нечто большее.



И все же я полагаю, что наш Суперфермент – личность второстепенная.



Рин, как тебе не стыдно! Он столько сделал. И мне жаль, что он исчез.



Да ладно тебе. Он сделал не более того, что делает обычный белок в составе мышечной ткани!

❖ ЗАКЛЮЧЕНИЕ



Белки помогают клеткам выполнять различные функции. В клетках организма человека содержится более 100 000 белков. И каждый ответствен за свой участок работы.

Перечислим лишь несколько основных функций белков:

- регулирование химических реакций (ферменты);
- сокращение мышц (актин и миозин);
- перенос кислорода и питательных веществ (гемоглобин);
- поддержание гомеостаза (гормоны наподобие инсулина);
- защита организма от вирусов и вредоносных бактерий (иммуноглобин);
- поддержание структуры клеток (коллаген и кератин).



Теперь вы видите, как важны для нас белки. И как они многофункциональны.



Ничего не скажешь, крутые ребята!..



Да, в сущности, только благодаря работе белков мы и живем.



Благодаря таким, как Суперфермент! Это просто фантастика.



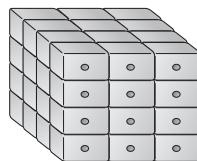
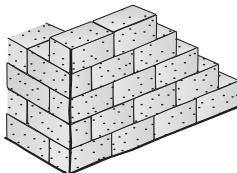
Дался же тебе этот тип...

2

БЕЛКИ СОСТОЯТ ИЗ АМИНОКИСЛОТ



На вчерашнем занятии мы выяснили, что живые организмы состоят из клеток. Группы клеток формируют ткани, а ткани – органы, которые обеспечивают функционирование организма как единого целого.



Из кирпичей, положенных встык, Клетки соединяются друг с другом
строится стена и образуют живую ткань

Белки также состоят из более мелких компонентов – *аминокислот*, связанных в цепочки.



Белки образуются из цепочек аминокислот

Из цепочек формируются и молекулы ДНК. Только в данном случае в эти цепочки включены специальные соединения – *нуклеотиды*.



ДНК представляет собой цепь нуклеотидов



Аминокислоты образуют белки по тому же принципу, что и клетки формируют ткани?



Нет, такую аналогию проводить нельзя. Группы клеток объединяются в трёхмерные структуры, а аминокислоты просто вытягиваются в длинную цепь.



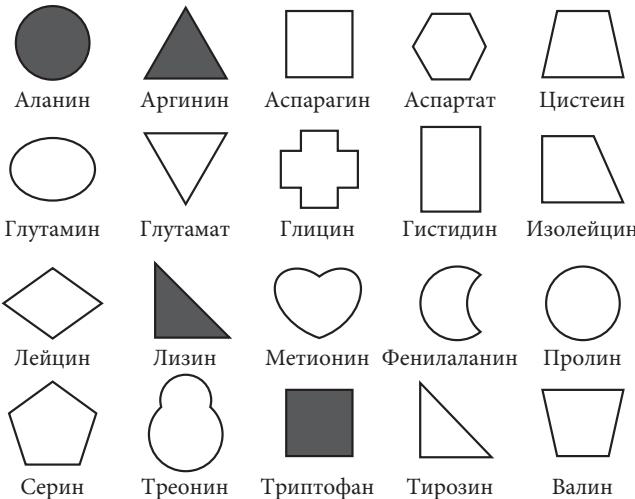
Если клетки можно сравнить с кирпичиками, то аминокислоты – это, скорее, бусины, которые нанизываются на длинную нитку. Так?

БЕЛКИ СОСТОЯТ ИЗ АМИНОКИСЛОТ



Это уже больше похоже на правду. Правда, такие «нитки бус» тоже иной раз свиваются и скручиваются. Не всегда они вытянуты строго по горизонтали.

Вот какие аминокислоты могут входить в состав белков. Последовательность этих аминокислот определяет функцию белка в организме.



ДЛЯ ПОСТРОЕНИЯ БЕЛКОВ ИСПОЛЬЗУЮТСЯ 20 ТИПОВ АМИНОКИСЛОТ.



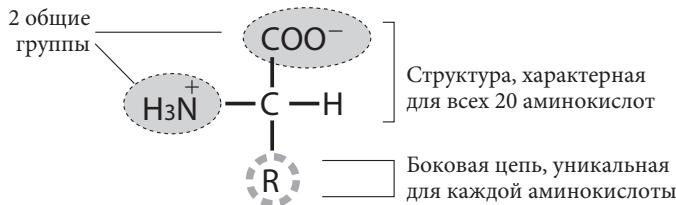
Что-то знакомое... Ах, да, глутамат натрия – усилитель вкуса!



Точно, есть такое вещество. Это соль одной из аминокислот – глутаминовой кислоты.

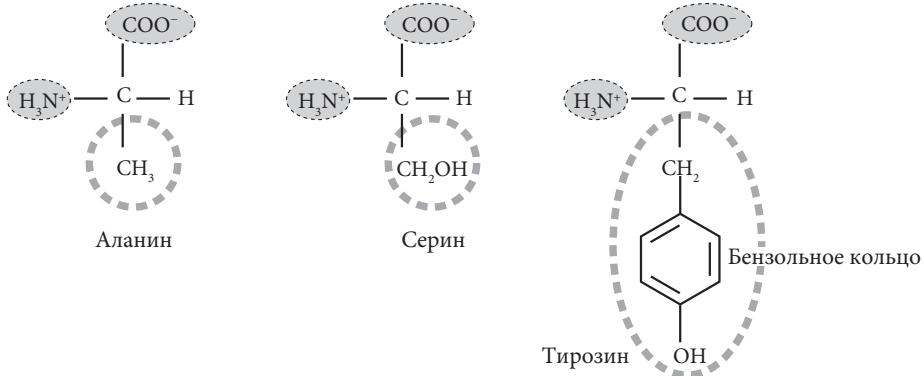
Вообще аминокислот в природе достаточно много, но всего лишь 20 из них могут входить в состав белка. При этом тип белка зависит от последовательности, в которой они располагаются.

А теперь рассмотрим структуру этих 20 аминокислот. У них есть общие группы элементов, а также уникальные, которые отличают их друг от друга.





На этом рисунке буквой R обозначена боковая цепь. Этот элемент для каждой аминокислоты уникален. Среди аминокислот, которые мы изучаем, есть простые – всего лишь с одним атомом водорода в боковой цепи – и сложные, например с бензольным кольцом.



Но во всех аминокислотах неизменно присутствуют общие части: H_3N^+ и COO^- .

❖ ИЗМЕНЕНИЕ ВСЕГО ОДНОЙ КИСЛОТЫ ПРИВОДИТ К СЕРЬЁЗНЫМ ПОСЛЕДСТВИЯМ



Может быть, вам покажется, что я ухожу от темы, но давайте поразмышляем вот над чем: почему кровь красная?



Ну, это же цвет страсти, цвет огня!



Мне кажется, это имеет мало отношения к химии.



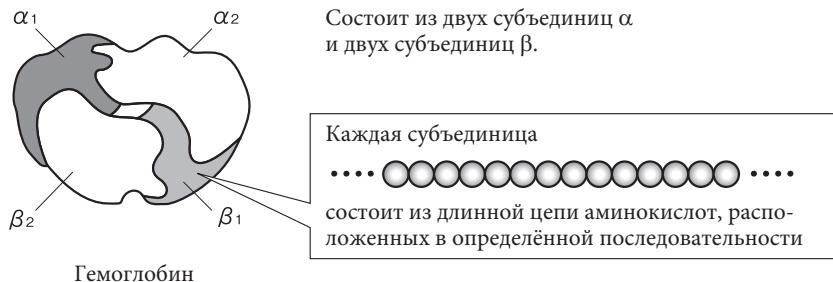
Да уж, пожалуй. На самом деле всё прозаичнее: в крови содержится красный пигмент – **гемоглобин**. Он-то её и окрашивает. Красные кровяные клетки выполняют важную функцию: переносят в клетки молекулы кислорода. При наличии кислорода клетки могут вырабатывать энергию. Кроме того, гемоглобин переносит и углекислый газ – CO_2 . Ярко-красная окраска гемоглобина объясняется присутствием в нём железа в большой концентрации.



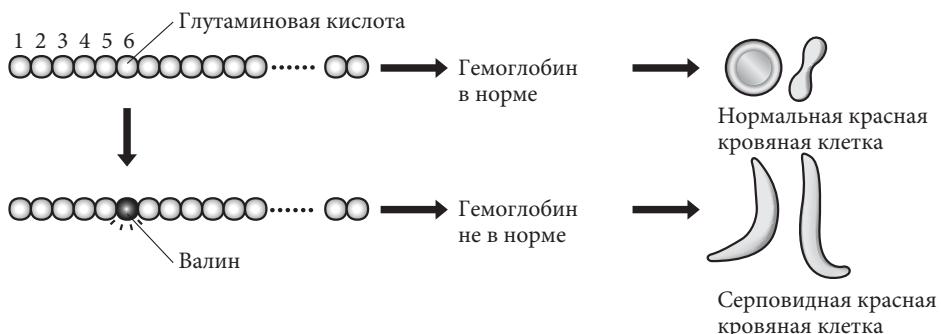
Маркус, а почему мы в самом деле переключились на кровь? Мы ведь говорили о белках.



Дело в том, что основным компонентом гемоглобина является белок. Точнее говоря, два типа белка – так называемые глобины, α и β . Каждый такой белок называется *субъединицей* и, как все белки, состоит из длинной цепочки из 20 аминокислот, соединенных друг с другом. В гемоглобине 4 субъединицы: две α (альфа) и две β (бета).



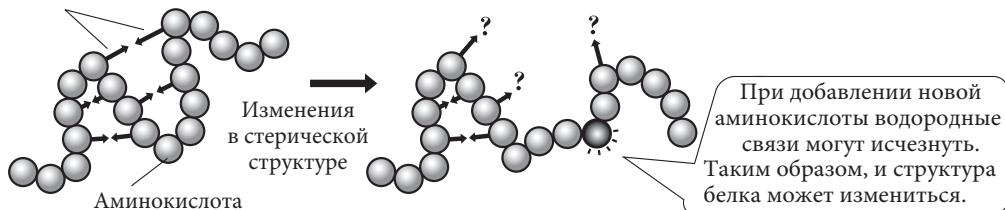
Изменение всего лишь одной аминокислоты в цепи может привести к серьёзным последствиям. Например, если на месте 6-й аминокислоты в субъединице β – глутаминовой кислоты – окажется валин, то гемоглобин не сможет переносить достаточное количество кислорода, что приведёт к заболеванию – анемии. Кроме того, при изменении в составе аминокислот красные кровяные клетки могут приобрести нетипичную для них серповидную форму. Такая болезнь называется *серповидноклеточной анемией*.



Не менее существенно и нарушение порядка следования аминокислот. Уникальная часть аминокислоты, условно обозначаемая символом R, воздействует на другую часть R другой аминокислоты определённым образом: например, за счёт электростатической силы, силы водородной связи или силы гидрофобного

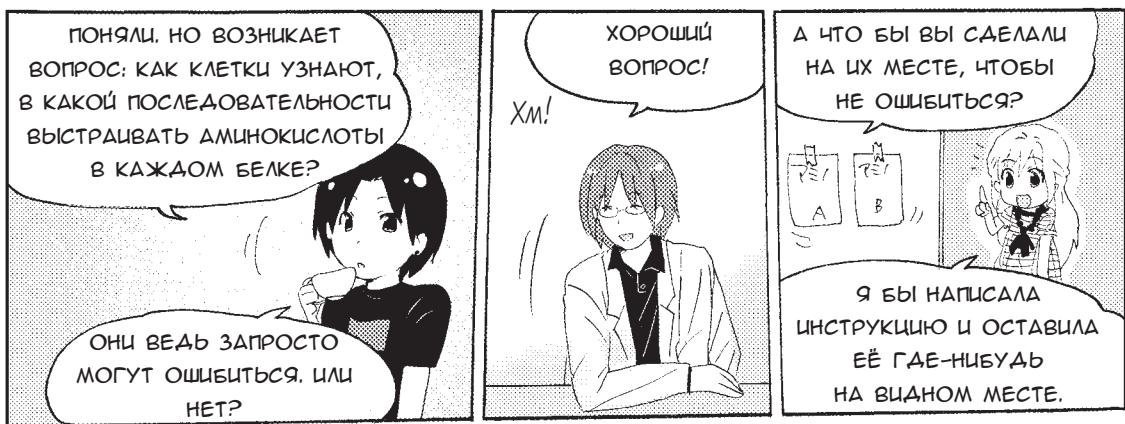
взаимодействия. В результате взаимодействия многочисленных групп R разных аминокислот молекулы скручиваются и приобретают трёхмерную форму. Структура белка (*стереическая структура*) зависит от сочетания этих сил. Заменим в этой структуре всего одну аминокислоту – и форма белка может заметно измениться! А следовательно, могут нарушиться и функции белка.

Структура этого белка определяется водородными связями



3 ГЕНЫ – ШАБЛОН ДЛЯ ПОСТРОЕНИЯ БЕЛКОВ

❖ КАК КЛЕТКИ УЗНАЮТ, КАКОЙ БЕЛОК СОЗДАВАТЬ?





❖ ЗА ПОРЯДОК АМИНОКИСЛОТ ОТВЕЧАЮТ ШАБЛОНЫ

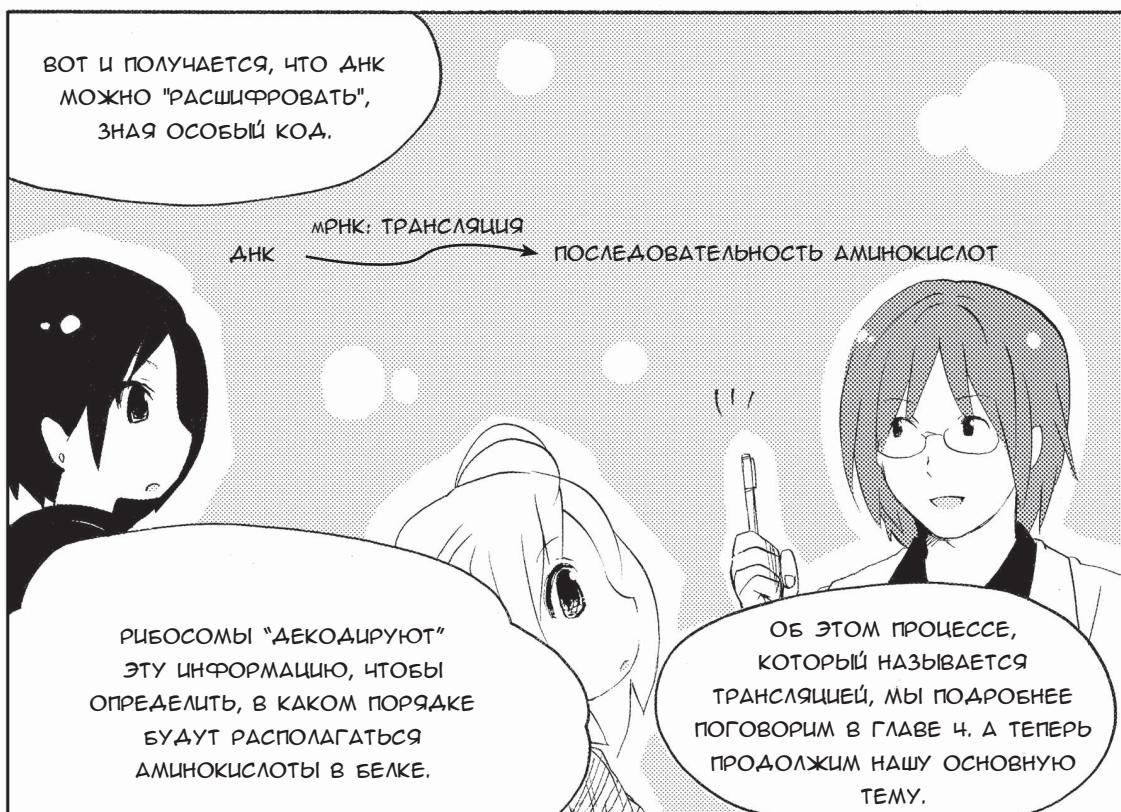




❖ ГЕНЕТИЧЕСКИЙ КОД



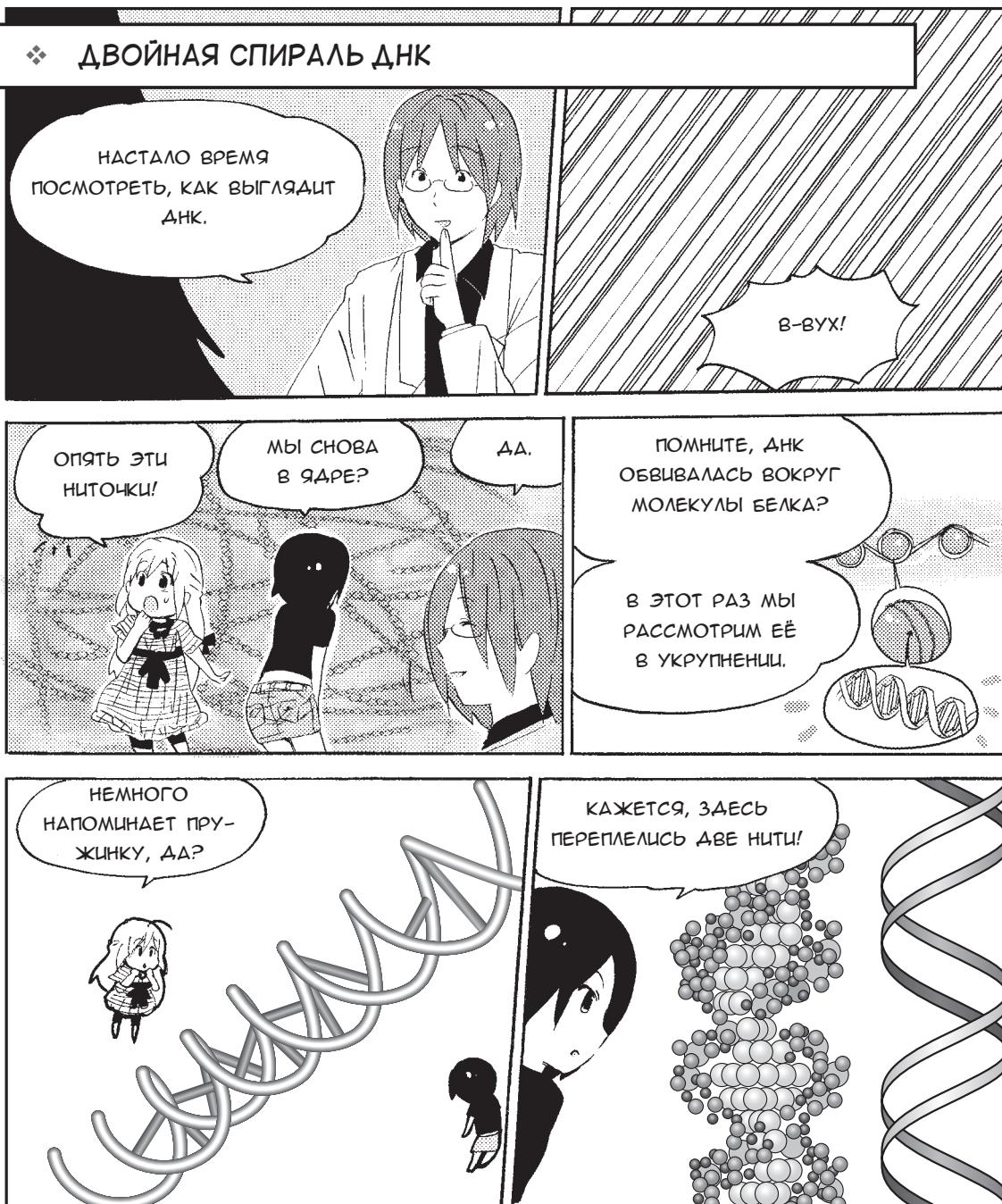
* В ОДНОЙ НИТИ ДНК ПРИСУТСТВУЕТ МНОЖЕСТВО ГЕНОВ.



Ч

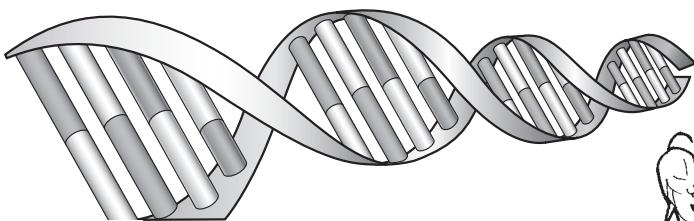
ДНК И НУКЛЕОТИДЫ

❖ ДВОЙНАЯ СПИРАЛЬ ДНК



ДА, ПРИЧЁМ ОБЕ НИТЫ ИМЕЮТ
ФОРМУ СПИРАЛИ.

НДА ЖЕ! КАКАЯ
ЧЁТКАЯ СТРУКТУРА.



ИТАК, ДНК ИМЕЕТ ФОРМУ
ДВОЙНОЙ СПИРАЛИ.

МОЖЕТЕ ПОДОЙТИ
ПОБЛИЖЕ.

ПРИГЛЯДИТЕСЬ. НИТЬ ДНК
КАК БУДАТО БЫ СОСТОИТ
ИЗ НЕСКОЛЬКИХ МОЛЕКУЛ
ОСОБОЙ ФОРМЫ.

ЭТО ЧЕМ-ТО ПОХОЖЕ
НА СТРУКТУРУ БЕЛКА.

❖ ДНК СОСТОИТ ИЗ НУКЛЕОТИДОВ

ПОДОБНО ТОМУ КАК БЕЛКИ СОСТОЯТ
ИЗ НАБОРА АМИНОКИСЛОТ, ДНК
ОБРАЗУЕТСЯ ПУТЕМ ОБЪЕДИНЕНИЯ
НЕСКОЛЬКИХ ЭЛЕМЕНТОВ.

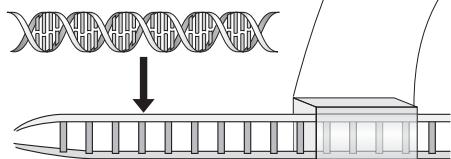
И ты, ДНК!

ВОТ ЭТИ ЭЛЕМЕНТЫ, ВХОДЯЩИЕ
В СОСТАВ ДНК, НАЗЫВАЮТСЯ
НУКЛЕОТИДАМИ.



ДНК

Нуклеотид



Ну...

Клео...



НА САМОМ ДЕЛЕ НАУЧНОЕ НАЗВАНИЕ –
ДЕЗОКСИРИБОНОКЛЕОТИД. НО ЧТОБЫ ПРОЩЕ
БЫЛО ЗАПОМНИТЬ, БУДЕМ ГОВОРить
ПРОСТО “НУКЛЕОТИД”.

НУКЛЕОТИД... НЕ УВЕРЕНА,
ЧТО ЭТО НАМНОГО ПРОЩЕ
ЗАПОМНИТЬ.

СОВЕТУЮ ПОВТОРИТЬ ЭТО
НАЗВАНИЕ. ТАК ОНО ЛУЧШЕ
ЗАПОМНИТСЯ.

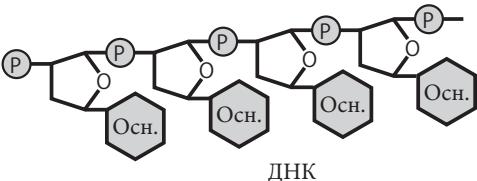
НУ-КЛЕ-О-ТИД...
НУ-КЛЕ-О-ТИД...
НУКЛЕО-ТИД...
НУКЛЕОТИД...

М-ДА...
ТРУДНОВАТО...

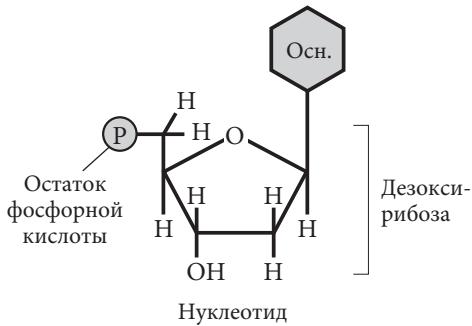
❖ НУКЛЕОТИДЫ – БУКВЫ “КОДА”



РАССМОТРИМ СТРУКТУРУ
НУКЛЕОТИДА.



ДНК



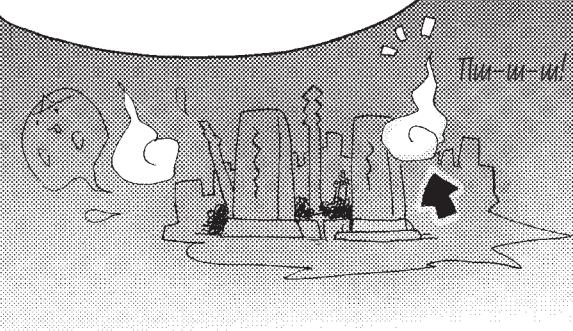
А ВОТ КАК ВЫГЛЯДАЕТ
ДНК.

В НУКЛЕОТИДЕ МОЖНО
ВЫДЕЛИТЬ ТРИ ЭЛЕМЕНТА:

ОСТАТОК ФОСФОРНОЙ КИСЛОТЫ,
ДЕЗОКСИРИБОЗУ И ОСНОВАНИЕ.



ФОСФОРНАЯ КИСЛОТА,
КАК ВЫ ЗНАЕТЕ, ОБРАЗУЕТСЯ
В РЕЗУЛЬТАТЕ РЕАКЦИИ
ОКСИДА ФОСФОРА
С ВОДОЙ.

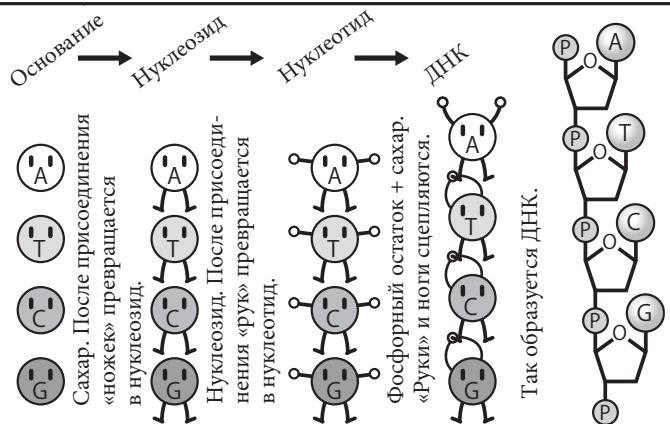


ДЕЗОКСИРИБОЗА ОТНОСИТСЯ
К САХАРАМ.

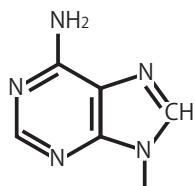
Ням...

ПРАВДА, НА ВКУС ОНА
ВОВСЕ НЕ СЛАДКАЯ...

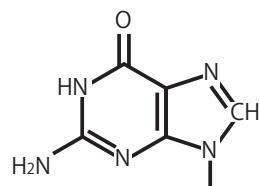
ОБРАЗНО ВЫРАЖАЯСЬ,
ОСНОВАНИЕ – ЭТО “ЛИЦО”
НУКЛЕОТИДА, ДЕЗОКСИРИБОЗА
(САХАР) – “НОГИ”,
А ОСТАТОК ФОСФОРНОЙ
КИСЛОТЫ – “РУКИ”. БЛИЖАЙШИЕ
ДРУГ К ДРУГУ НУКЛЕОТИДЫ
СОЕДИНЯЮТСЯ, ТАК ЧТО
“РУКИ” ОДНИХ ОБХВАТЫВАЮТ
“НОГИ” ДРУГИХ.



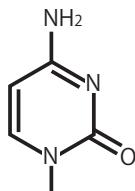
ТЕПЕРЬ НАМ ПРЕДСТОИТ
СФОКУСИРОВАТЬСЯ НА ОСНОВАНИИ.
У НУКЛЕОТИДОВ СУЩЕСТВУЕТ
ЧЕТЫРЕ ВИДА ОСНОВАНИЙ.



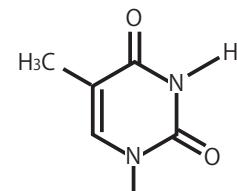
Аденин (A)



Гуанин (G)



Цитозин (C)



Тимин (T)

ЭТО АДЕНИН, ГУАНИН, ЦИТОЗИН И ТИМИН.
ОНИ ОБОЗНАЧАЮТСЯ ЛАТИНСКИМИ
СИМВОЛАМИ А, Г, С, Т.

ОСНОВАНИЕ – ПО СУТИ,
САМАЯ ВАЖНАЯ ЧАСТЬ
НУКЛЕОТИДА.

ДНК СОСТОИТ ИЗ ЧЕТЫРЕХ
ВИДОВ НУКЛЕОТИДОВ,
СОЧЕТАЮЩИХСЯ ДРУГ
С ДРУГОМ В НЕКОТОРОЙ
ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ.

СТОП! ЧТО-ТО ЭТО
МНЕ НАПОМИНАЕТ...

НУ КОНЕЧНО!
БЕЛКИ!

ВЕДЬ ИХ ФУНКЦИИ
ТОЖЕ ЗАВИСЯТ ОТ
ТОГО, В КАКОМ
ПОРЯДКЕ В НИХ
РАСПОЛОЖЕНЫ
АМИНОКИСЛОТЫ.

И БЕЛКИ, И ДНК ПРИНАДЛЕЖАТ К КЛАССУ **ПОЛИМЕРОВ**. ЭТО СОЕДИНЕНИЯ, КОТОРЫЕ СОСТОЯТ ИЗ БОЛЕЕ МЕЛКИХ СТРУКТУР (В ОДНОМ СЛУЧАЕ – АМИНОКИСЛОТ, В ДРУГОМ – НУКЛЕОТИДОВ), СОЕДИНЁННЫХ В ДЛИННУЮ ЦЕПЬ. ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ МОНОМЕРОВ В ЦЕПИ ОЧЕНЬ ВАЖНА. ПОРЯДОК ОСНОВАНИЙ В ДНК ОПРЕДЕЛЯЕТ ПОРЯДОК АМИНОКИСЛОТ В БЕЛКАХ.



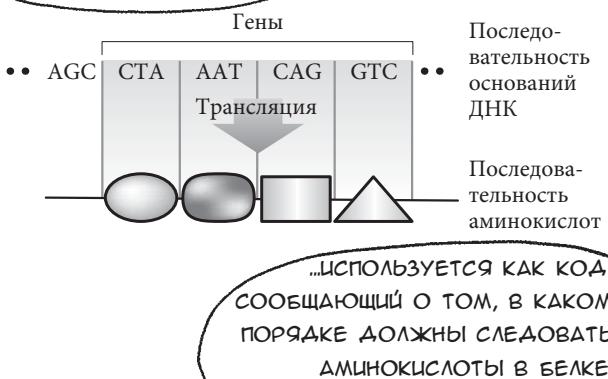
ВЫ ПОНЯЛИ,
В ЧЁМ ТУТ ДЕЛО?

ВСЁ ЯСНО! В КАЧЕСТВЕ
“СИМВОЛОВ” КОДА
ВЫСТУПАЮТ ОСНОВАНИЯ
ДНК!

ИНФОРМАЦИЯ
О ПОРЯДКЕ АМИНОКИСЛОТ
В СОСТАВЕ БЕЛКОВ ЗАШИФРОВАНА
В ДНК В ВИДЕ КОДА. ЭТЫЙ КОД
ЗАПИСАН В ВИДЕ “СИМВОЛОВ”.

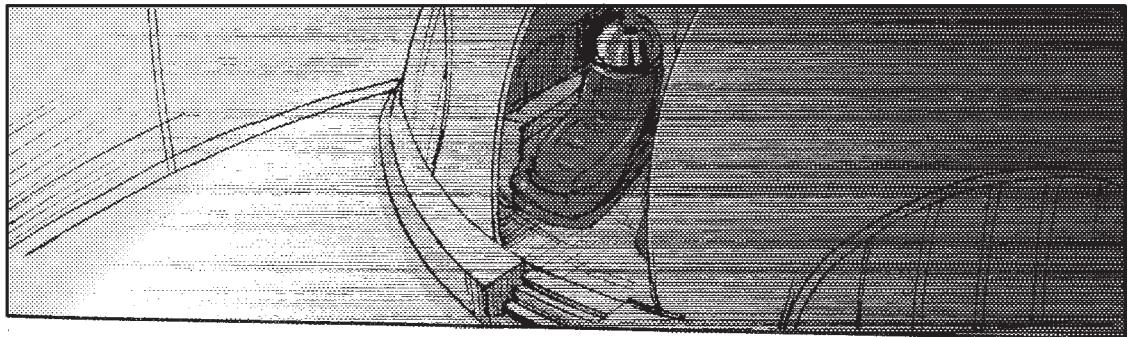
ВЕРНО!

ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ,
В КОТОРОЙ РАСПОЛАГАЮТСЯ
ЧЕТЫРЕ ВИДА НУКЛЕОТИДА
(А, Г, С, Т...)



ПОЛУЧАЕТСЯ, ЧТО ОДИН ГЕН
ОТВЕЧАЕТ ЗА СОЗДАНИЕ
ОДНОГО БЕЛКА.





5

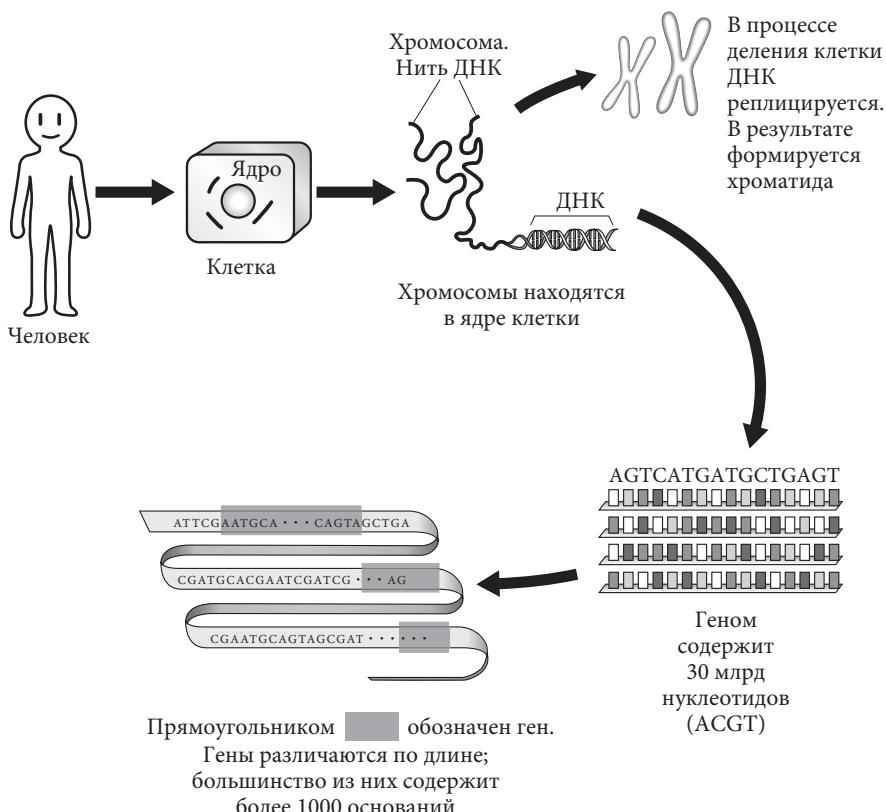
ГЕНОМ – БИБЛИОТЕКА ГЕНОВ

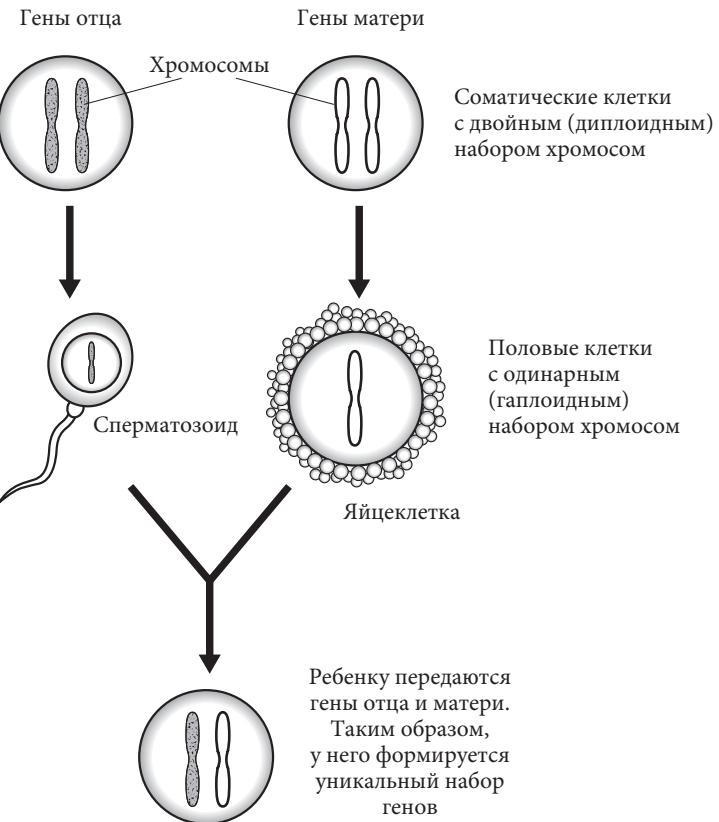


Информация о последовательности генов может пригодиться в таких областях, как медицина и биология. Настанет время, когда достаточно будет провести анализ ДНК, чтобы определить предрасположенность человека к онкологическим и другим заболеваниям. Набор последовательностей генов во всех нитях ДНК отдельного организма называется *геномом*. Геном любого живого существа содержится в ядре каждой его клетки.

Проект «Геном человека» был завершен в 2003 году. В ходе проекта были найдены последовательности оснований ДНК, «прочитан» каждый ген в человеческом организме.

Таким образом, у человека было обнаружено около 30 000 генов, каждый из которых содержит уникальную длинную цепочку оснований А, Г, С и Т.





В ваших клетках 46 пар хромосом. В каждой паре одна хромосома унаследована от матери, другая – от отца. В каждой клетке содержится два набора генов – исключение составляют лишь половые клетки, в которых имеется лишь один набор (23 хромосомы, также унаследованные частично от матери, частично – от отца).

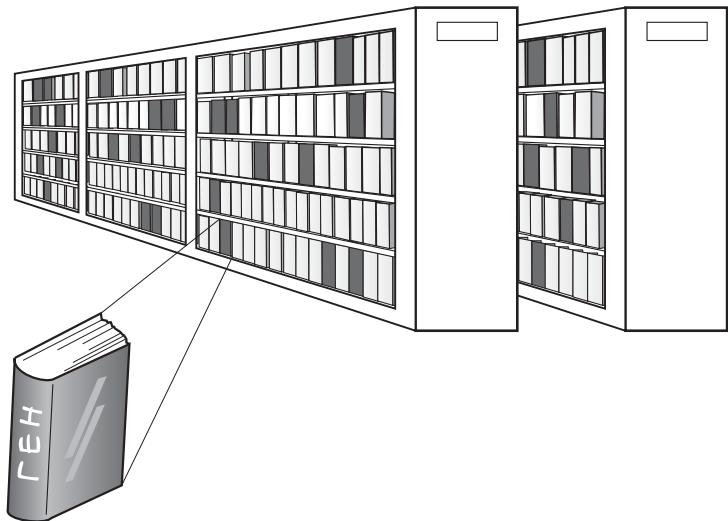
Геном можно сравнить с библиотекой, где хранится множество сборников рецептов. Продолжая ту аналогию, каждую хромосому можно уподобить книге, а каждый ген – рецепту, по которому можно приготовить белок.

Но геном содержит не только гены. Существуют последовательности оснований, которые не кодируют синтез белка. В настоящее время эти части генома особенно тщательно исследуются.



Некодирующие фрагменты ДНК могут отвечать за иные, не менее важные процессы – например, *экспрессию генов*.

Если каждое основание уподобить букве в книге, то геном в целом насчитывает около 100 млн слов. Это примерно 5000 книг по 300 страниц каждая. Вот какая громадная «библиотека» внедрена в ядро клетки размером меньше булевочной головки! Только представьте: в ядре каждой клетки нашего организма заключено 5000 томов.



3

РЕПЛИКАЦИЯ ДНК И ДЕЛЕНИЕ КЛЕТКИ

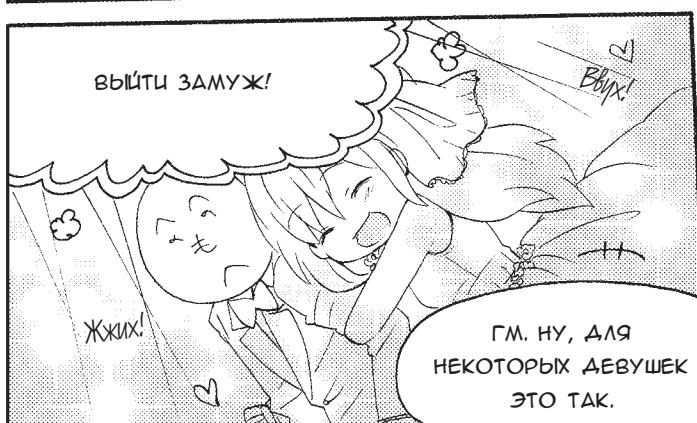
3

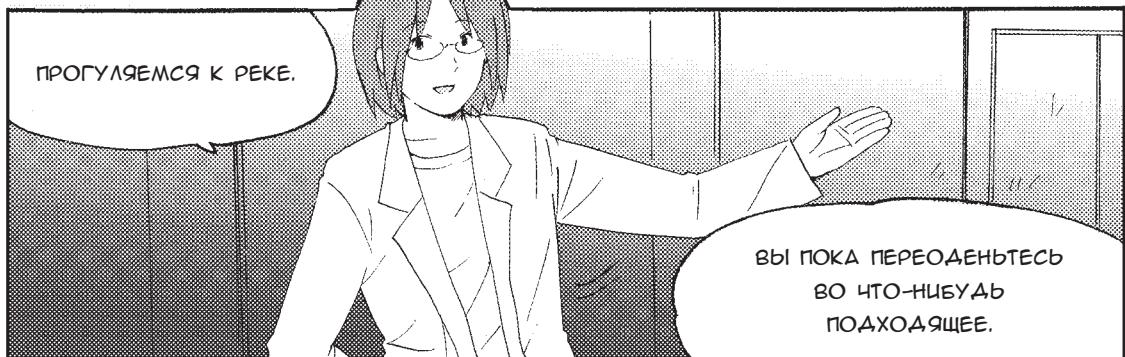
1

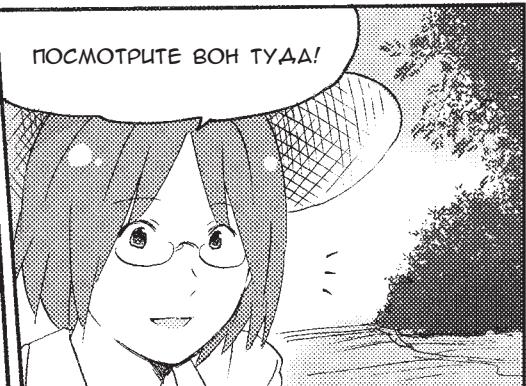
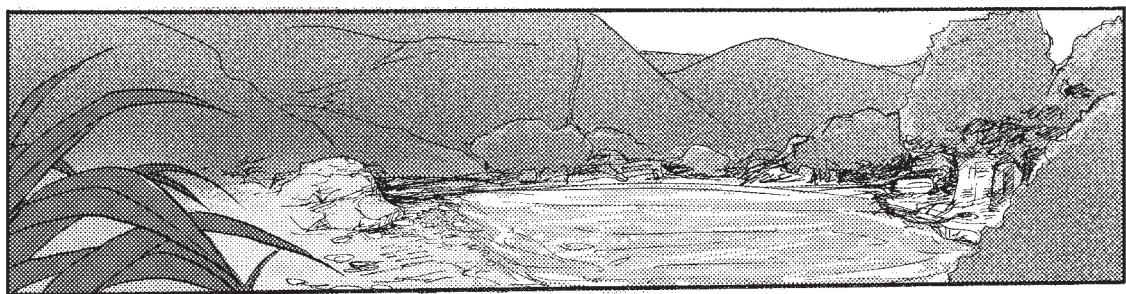
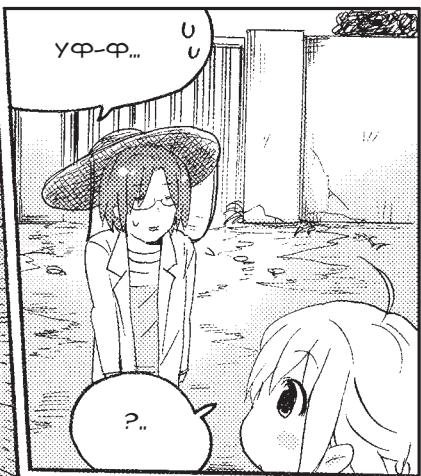
ДЕЛЕНИЕ КЛЕТОК

❖ ВОСПРОИЗВОДСТВО – ОСНОВА ЖИЗНИ

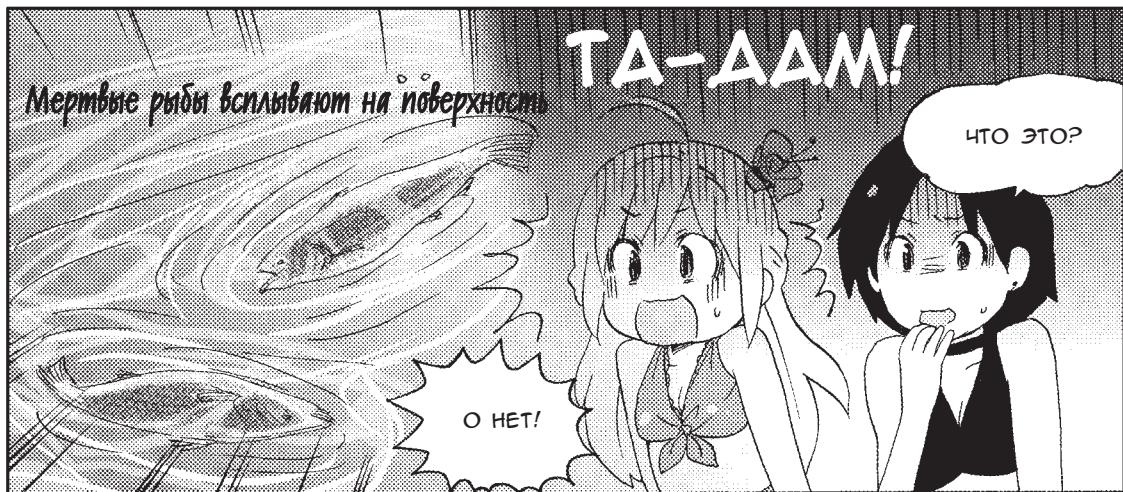
СЕГОДНЯ МЫ ПОГОВОРИМ
О РЕПЛИКАЦИИ ДНК
И ДЕЛЕНИИ КЛЕТОК.

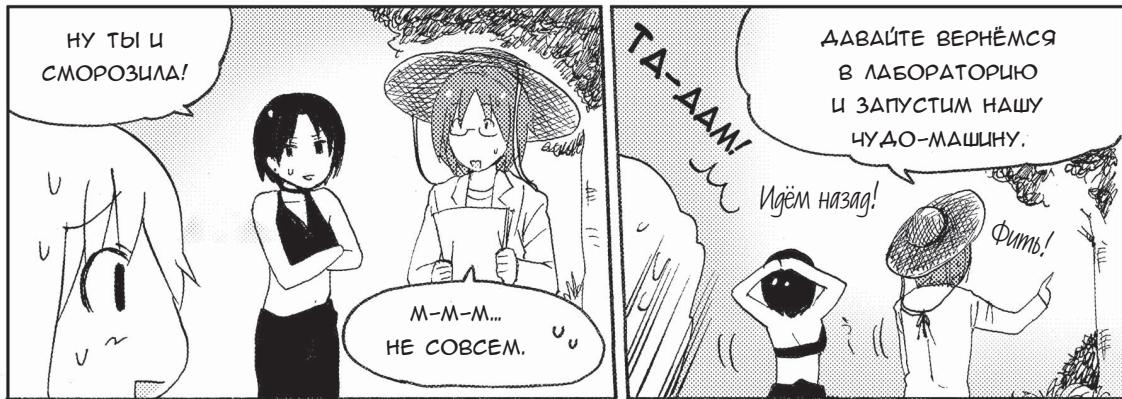






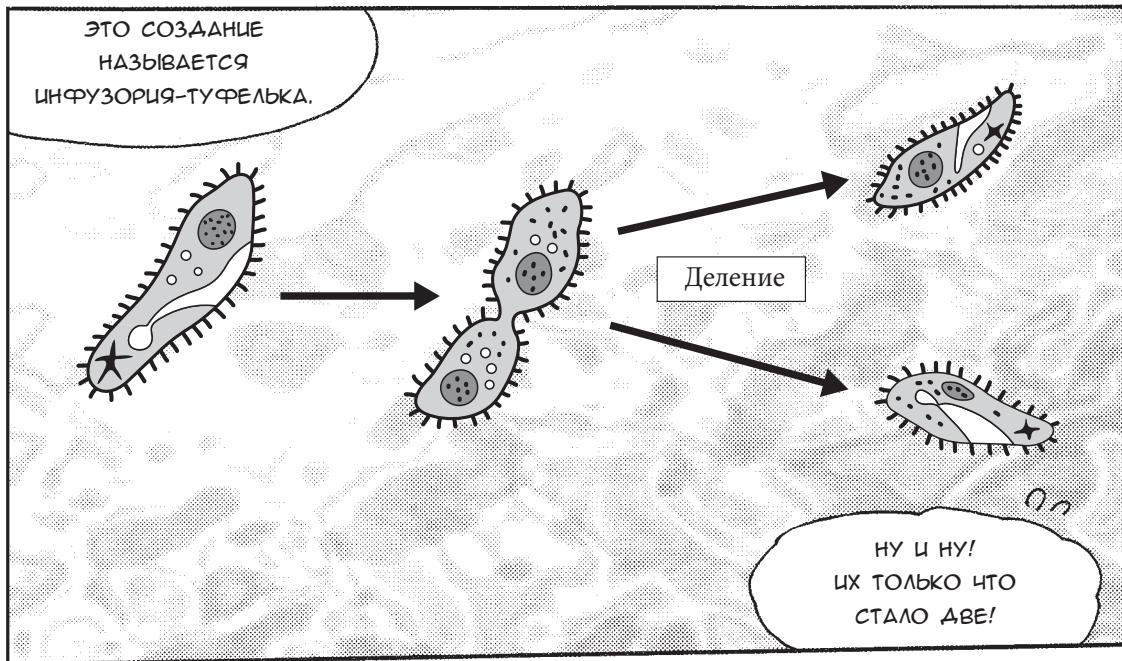
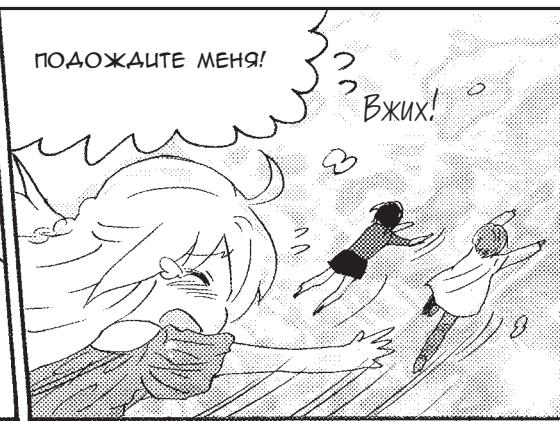


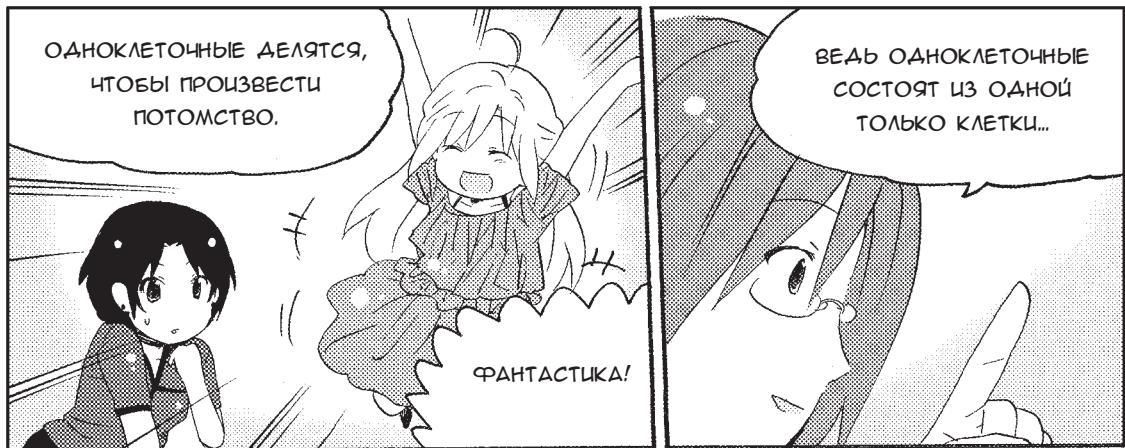




❖ ДЕЛЕНИЕ КЛЕТОК – ПРОСТЕЙШИЙ СПОСОБ ВОСПРОИЗВОДСТВА





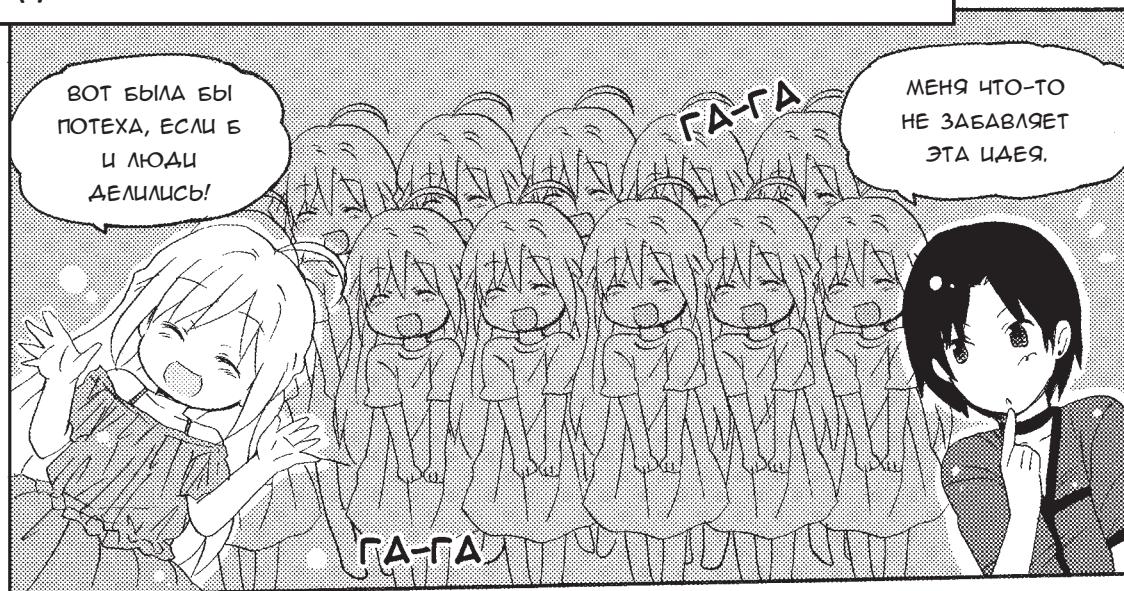


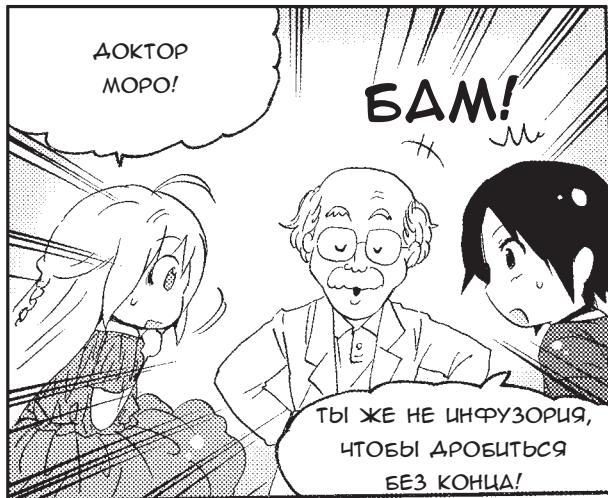
ТАКИМ МЕТОДОМ РАЗМНОЖАЮТСЯ
НЕ ТОЛЬКО ЦИФУЗОРИИ, НО И
НЕКОТОРЫЕ БАКТЕРИИ... ЭТО ТАК
НАЗЫВАЕМОЕ БЕСПОЛОЕ
РАЗМНОЖЕНИЕ*.

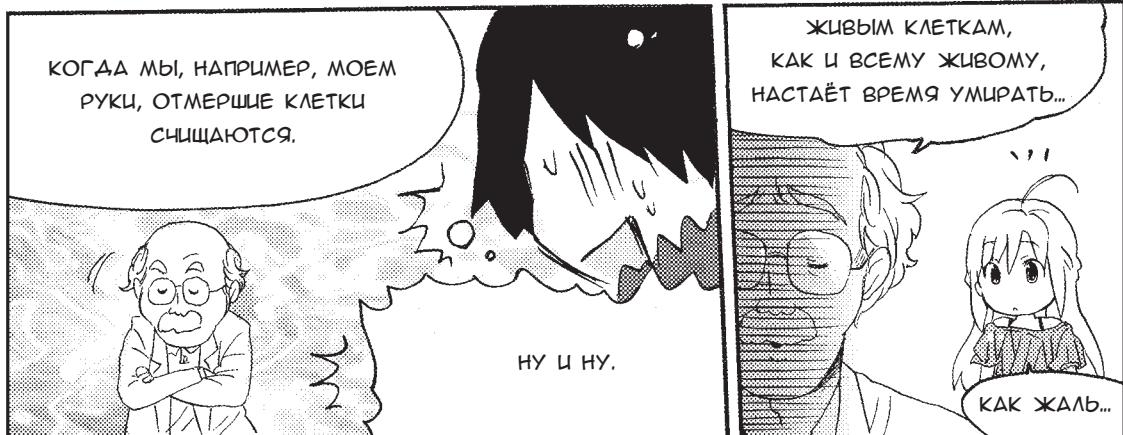
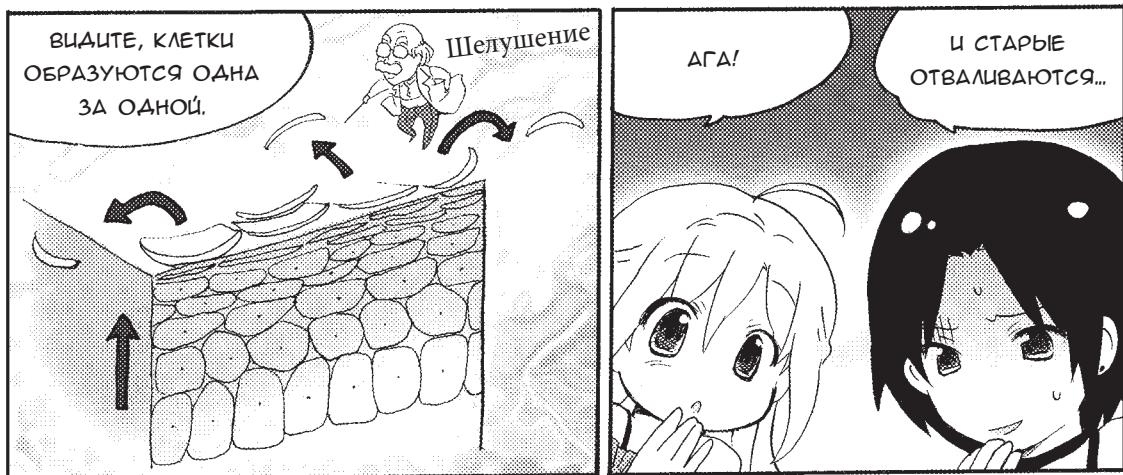
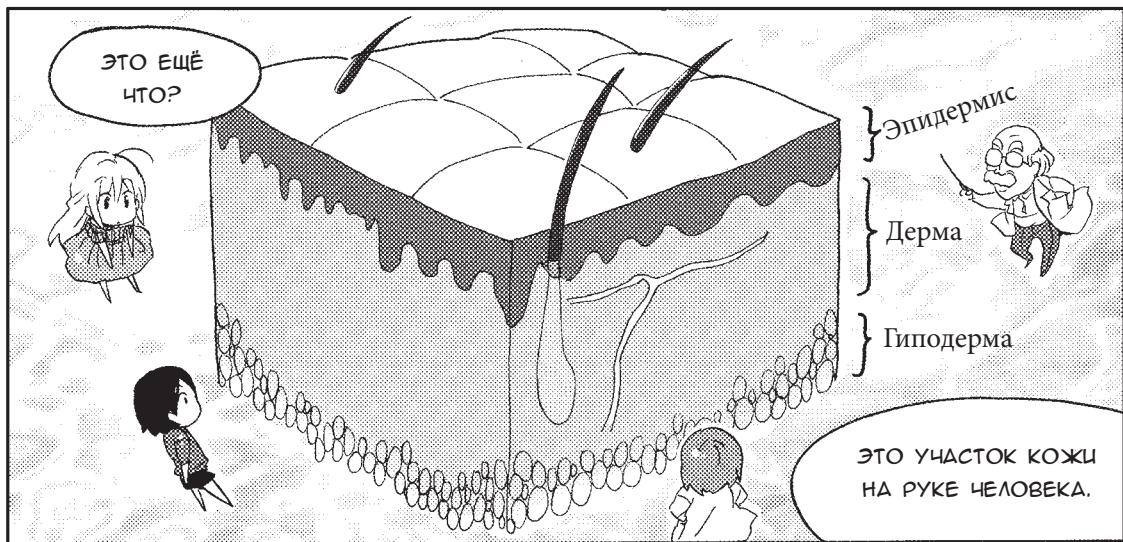
ЭТО САМЫЙ ПРИМИТИВНЫЙ
СПОСОБ СОЗДАНИЯ
ПОТОМСТВА.

* ЕВАЮТ И ИСКЛЮЧЕНИЯ. НАПРИМЕР, У ЦИФУЗОРИЙ ПОЛОВОЙ ПРОЦЕСС - КОНЬЮГАЦИЯ,
ПРИ КОТОРОМ ПРОИСХОДИТ ОБМЕН ГЕНАМИ, - НЕ ПРИВОДИТ К УВЕЛИЧЕНИЮ ЧИСЛА ОСОБЕЙ.

❖ ДЕЛЕНИЕ КЛЕТОК В МНОГОКЛЕТОЧНЫХ ОРГАНИЗМАХ



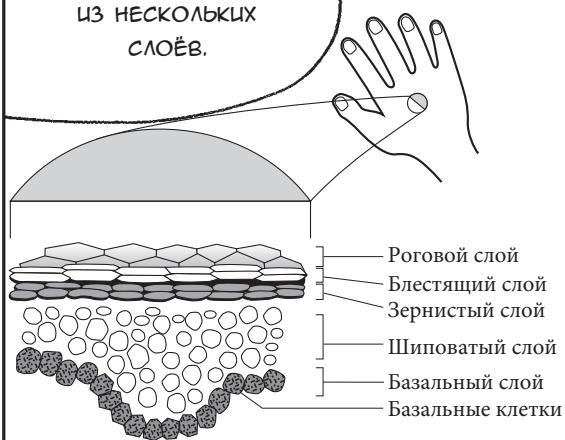




ЧЕЛОВЕК НЕ СМОЖЕТ ЖИТЬ, ЕСЛИ НОВЫЕ МОЛОДЫЕ КЛЕТКИ НЕ БУДУТ ЗАМЕЩАТЬ СТАРЫЕ, ОТМИРАЮЩИЕ.

ПОНЯТНО. ЧЕЛОВЕК СУЩЕСТВО СЛОЖНОЕ, И ЦЕЛИКОМ ОН НЕ СМОЖЕТ ДЕЛИТЬСЯ. А ВОТ ЕГО КЛЕТКИ - СМОГУТ!

КОЖА СОСТОИТ ИЗ НЕСКОЛЬКИХ СЛОЁВ.



ОГО!

ЭТИ КЛЕТКИ ДЕЛЯТСЯ ОДНА ЗА ОДНОЙ!

одна

АКТИВНО ДЕЛЯЩИЕСЯ КЛЕТКИ В БАЗАЛЬНОМ СЛОЕ НАЗЫВАЮТСЯ **БАЗАЛЬНЫМИ КЛЕТКАМИ**.



В РЕЗУЛЬТАТЕ ИХ НЕПРЕРЫВНОГО ДЕЛЕНИЯ НОВЫЕ КЛЕТКИ ПОНЕМНОГУ ЗАМЕЩАЮТ СТАРЫЕ, КОТОРЫЕ НАХОДЯТСЯ В ВЕРХНЕМ СЛОЕ И ПОСТЕПЕННО ОТШЕЛУШИВАЮТСЯ.

ТЕ ЖЕ ПРОЦЕССЫ ПРОИСХОДЯТ И В ДРУГИХ ОРГАНАХ ТЕЛА, НАПРИМЕР В СЕРДЦЕ И ЛЁГКИХ...





❖ ЧТО ПРОИСХОДИТ С ГЕНАМИ

ИТАК, МЫ ВЫЯСНИЛИ, ЧТО КЛЕТКИ ДЕЛЯТСЯ. А КАК ЖЕ ГЕНЫ, КОТОРЫЕ В НИХ СОДЕРЖАТСЯ?

ХОРОШИЙ ВОПРОС...

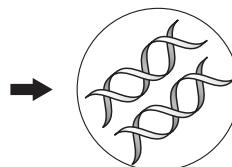
После боя с Ами



ДНК "ДЕЛИТСЯ".
А ВМЕСТЕ
С НЕЙ И ГЕНЫ.



ДНК



ДНК удваивается



По одной копии ДНК
на каждую клетку

НО ЭТОТ ПРОЦЕСС СУЩЕСТВЕННО
ОТЛИЧАЕТСЯ ОТ ДЕЛЕНИЯ КЛЕТОК.
СНАЧАЛА НИТЬ ДНК РАСХОДИТСЯ
НА ДВЕ ЧАСТИ.

А ПОТОМ К КАЖДОЙ
ИЗ ЭТИХ ЧАСТЕЙ
ПРИСОЕДИНЯЕТСЯ НОВАЯ.
В РЕЗУЛЬТАТЕ ОБРАЗУЮТСЯ
ДВЕ НИТЫ, ПО ОДНОЙ
НА КАЖДУЮ КЛЕТКУ.

НАЗЫВАЕТСЯ ЭТО
РЕПЛИКАЦИЕЙ ДНК.



СМОЖЕТЕ
ЗАПОМНИТЬ?

СМОЖЕМ... НО ВООБЩЕ-ТО
СТРАННО, ЧТО ШАБЛОНЫ
УМЕЮТ ДЕЛИТЬСЯ.

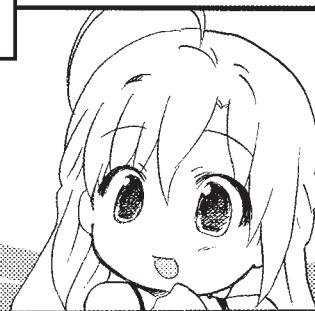
Хлоп!!



ТЕРМИН "ДЕЛЕНИЕ" ЗДЕСЬ
НЕ ВПОЛНЕ УМЕСТЕН.
НА САМОМ ДЕЛЕ РЕПЛИКАЦИЯ -
ЭТО СОЗДАНИЕ ТОЧНОЙ КОПИИ.

❖ ДВОЙНАЯ СПИРАЛЬ ДНК

МЫ УЖЕ ГОВОРИЛИ
О СТРУКТУРЕ ДНК
(СМ. СТР. 81). КАК ОНА
НАЗЫВАЕТСЯ, АМИ?



ДВОЙНАЯ...
Э-Э...
ЗАКРУТКА?

НУ, ПОЧТИ.
ДВОЙНАЯ СПИРАЛЬ.

Нуклеотид

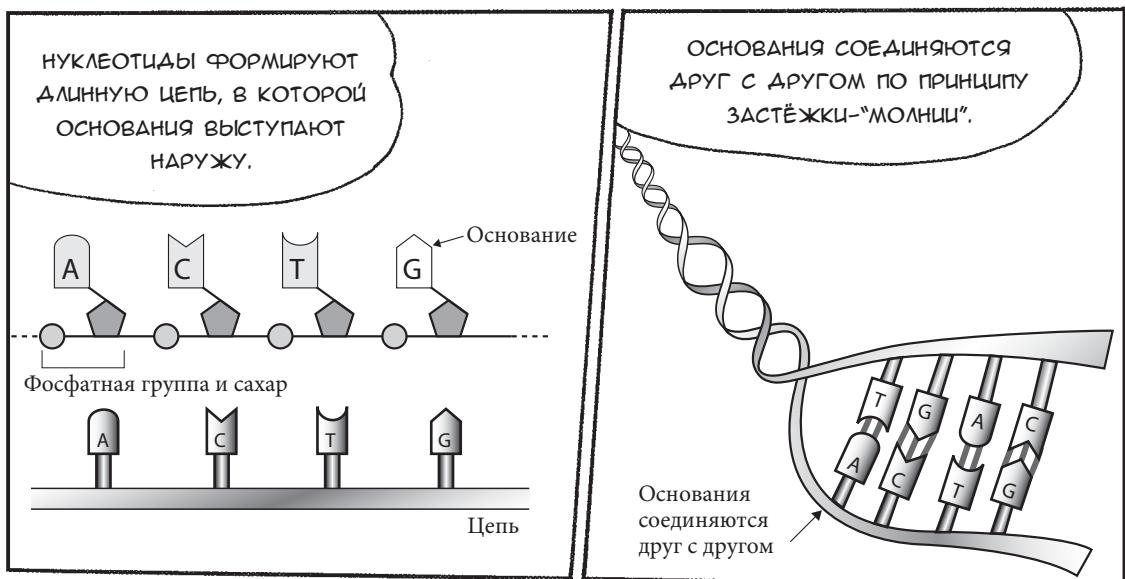
Двойная
спираль

КАКАЯ ПРЕЛЕСТЬ!
И ВОТ ЭТО ВСЁ СОСТОИТ
ИЗ НУКЛЕОТИДОВ?

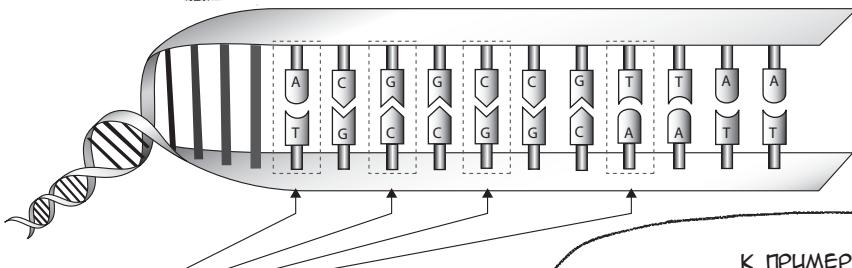
ТЫ ХОТЕЛА СКАЗАТЬ
"НУК..."

ТАДДАМ

ОНА ВСЁ ПРАВИЛЬНО
ВЫГОВОРИЛА!



ОСНОВАНИЯ МОГУТ ОБРАЗОВЫВАТЬ ПАРЫ ТОЛЬКО ДВУХ ВИДОВ:
АДЕНИН (А) – ТИМИН (Т)
И ЦИТОЗИН (С) – ГУАНИН (Г).



У каждого основания есть строго определённая пара

Для аденина (А) парой всегда будет тимин (Т), а для гуанина (Г) – цитозин (С).

К примеру,
для последовательности оснований АСББСССТТА в одной нити ДНК парной будет последовательность ТГСССББСАТТ в другой нити.

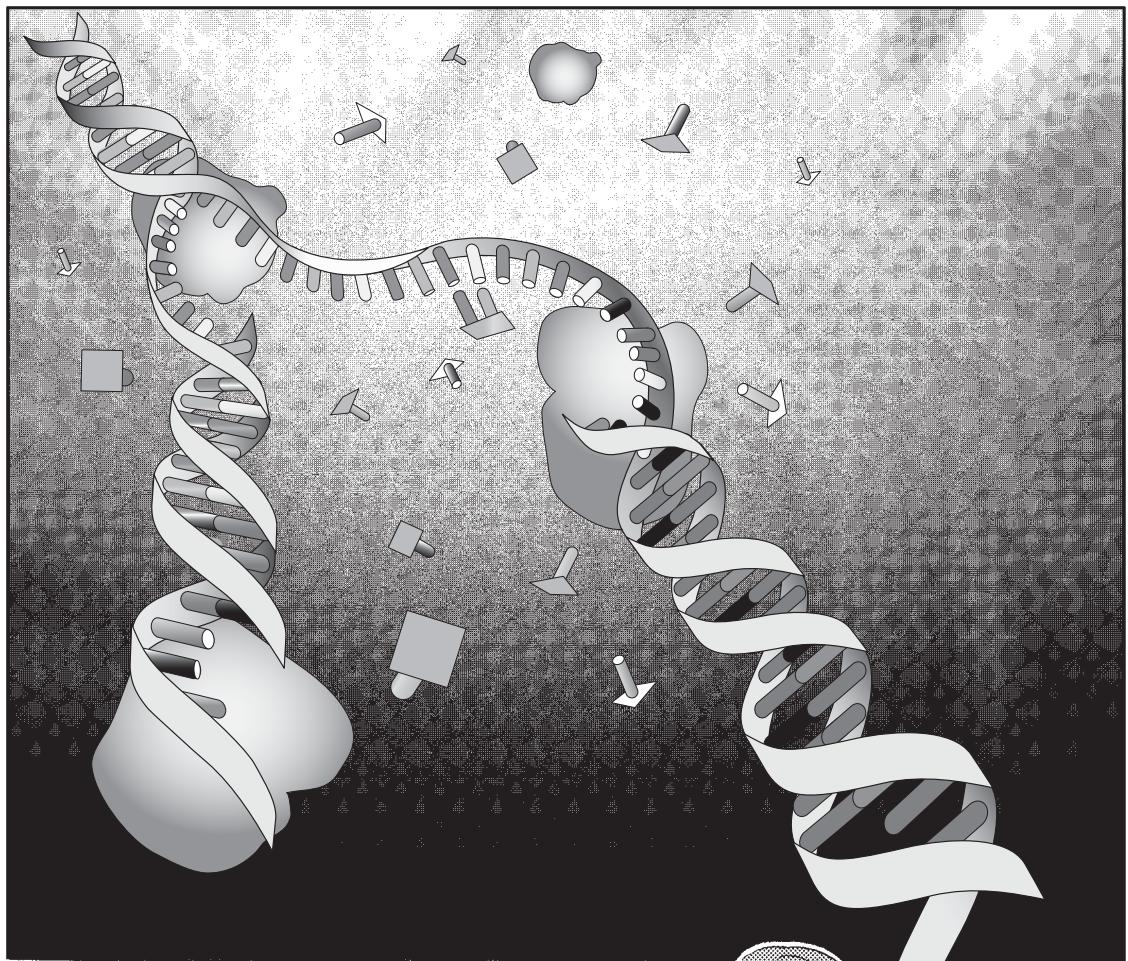
ТАКИМ ОБРАЗОМ, ЗНАЯ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ ОСНОВАНИЙ ОДНОЙ НИТИ, МЫ ЛЕГКО СМОЖЕМ ОПРЕДЕЛИТЬ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ ДРУГОЙ.



❖ РОЛЬ ДНК-ПОЛИМЕРАЗЫ В РЕПЛИКАЦИИ ДНК

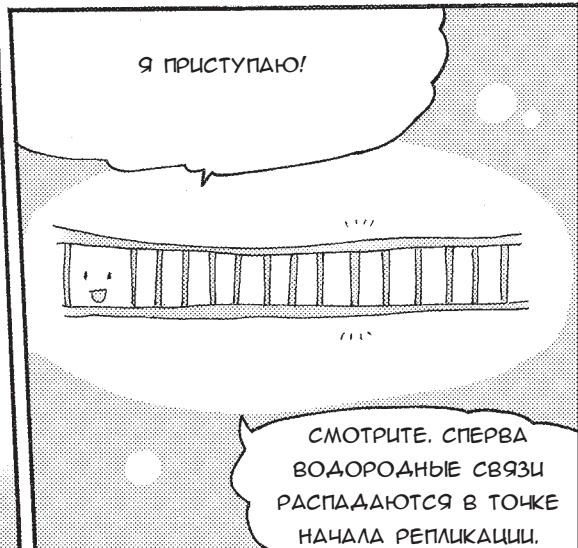
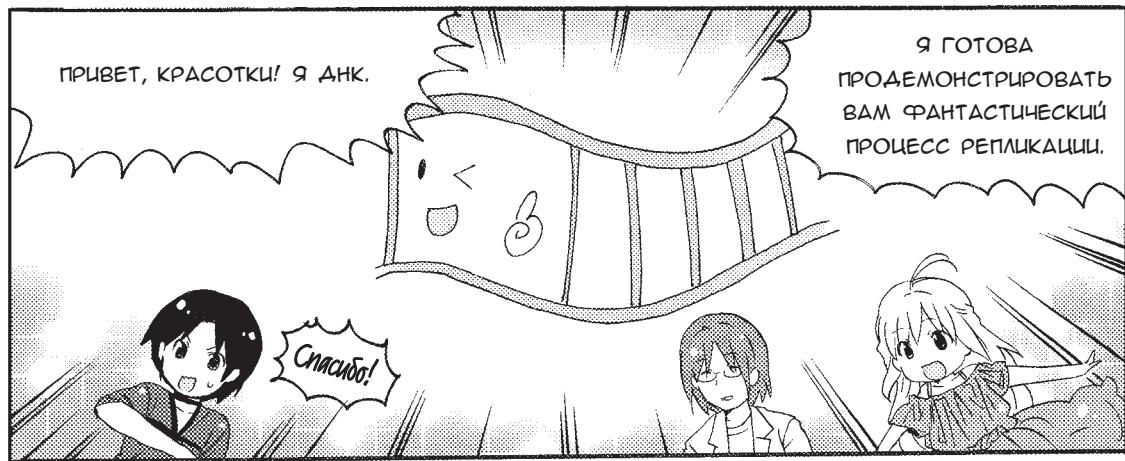
ВНИМАНИЕ!
РЕПЛИКАЦИЯ УЖЕ НАЧАЛАСЬ.

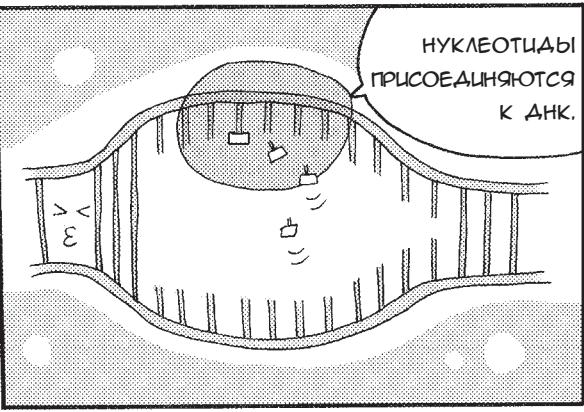
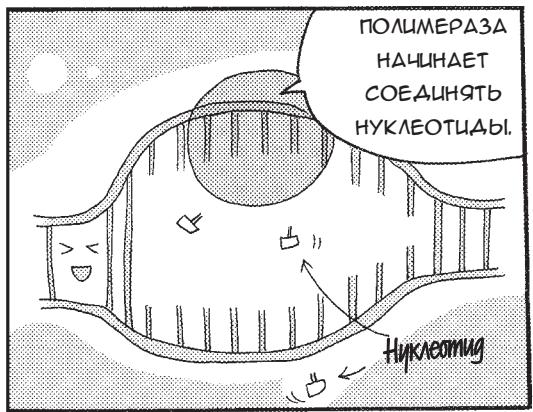
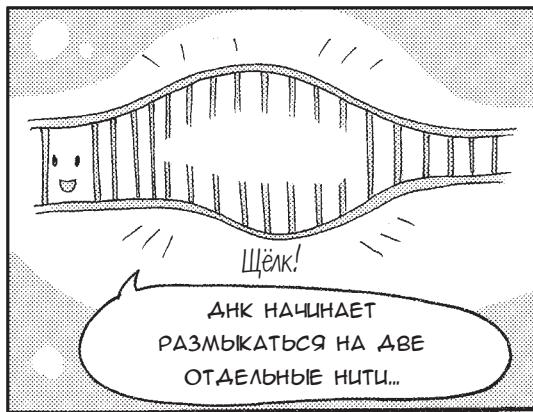


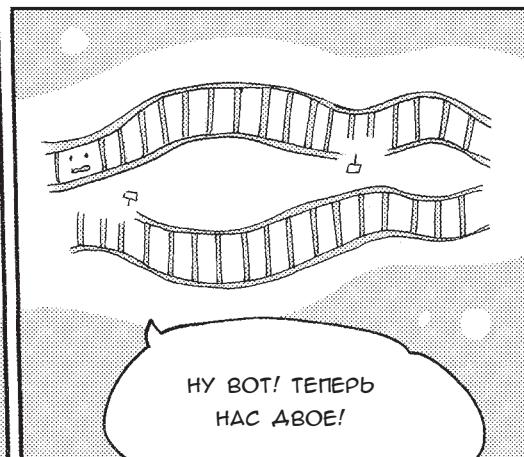
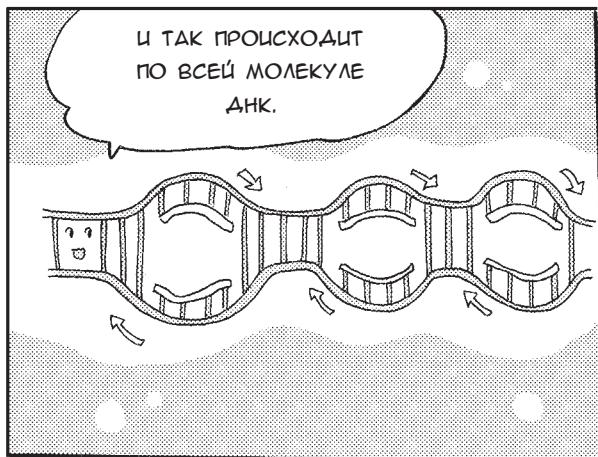


ПОСЛЕ ТОГО КАК ДВЕ НИТЫ ДНК
РАЗДЕЛЯЮТСЯ, К КАЖДОЙ ИЗ НИХ
ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНО ПРИСОЕДИНАЮТСЯ
НОВЫЕ НУКЛЕОТИДЫ. ТАКИМ ОБРАЗОМ
ФОРМИРУЕТСЯ ВТОРАЯ НИТЬ.

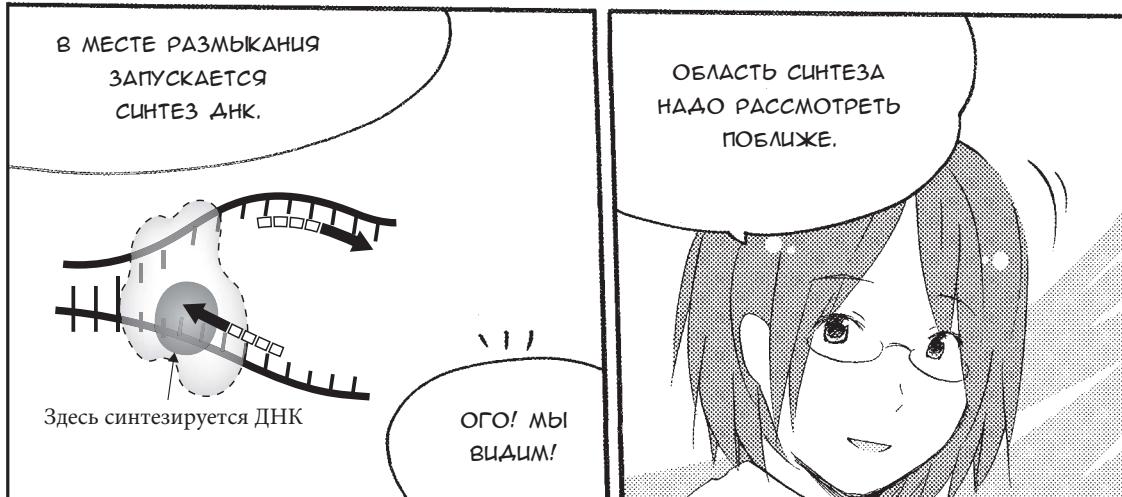
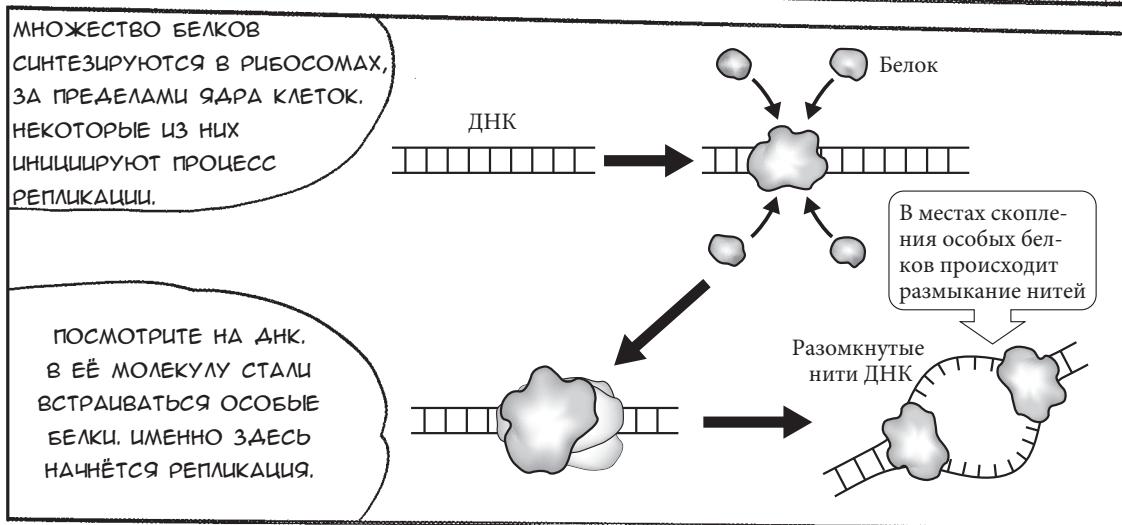
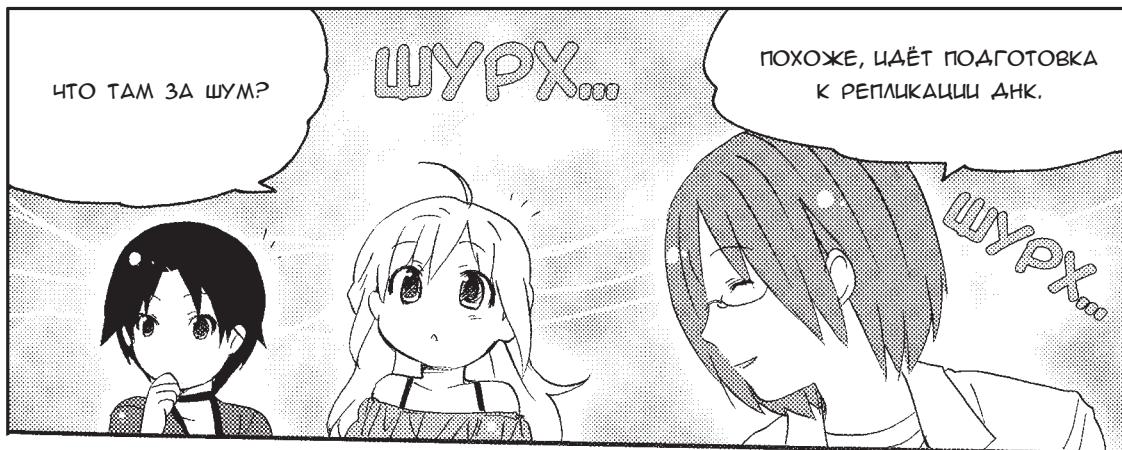








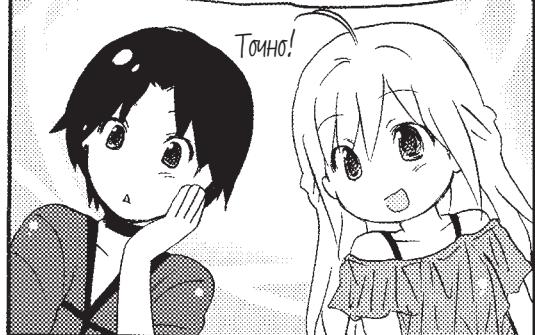




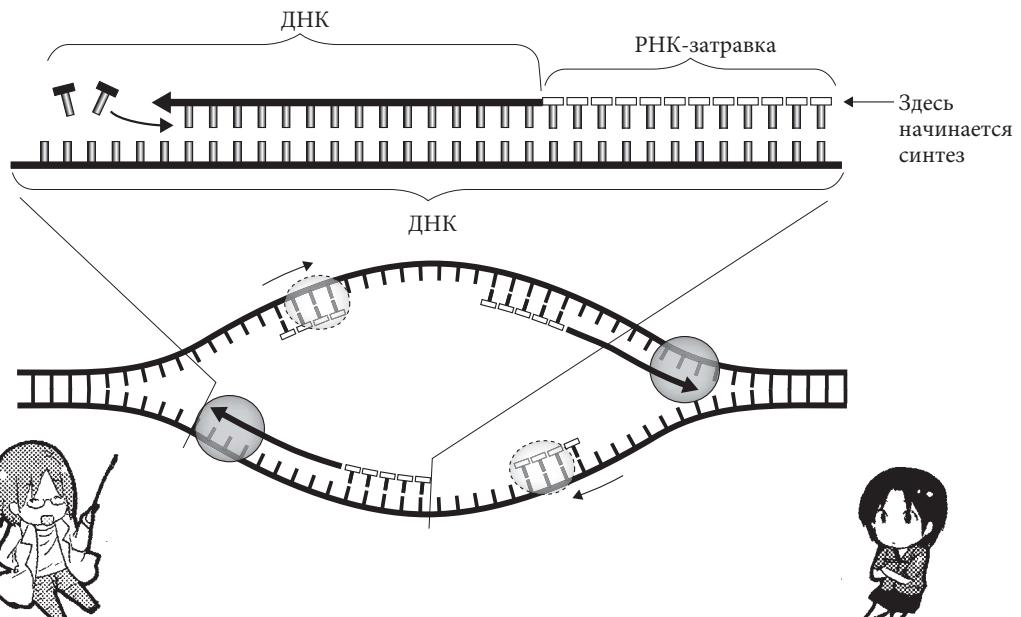
ОДИН ИЗ БЕЛКОВ ОБРАЗУЕТ СВЯЗЬ С НИТЬЮ ДНК (СЕПЕРЬ УЖЕ ОДНОЦЕПОЧЕЧНОЙ). НАХОДЯЩИЕСЯ РЯДОМ НУКЛЕОТИДЫ ОДИН ЗА ДРУГИМ ПРИСОЕДИНАЮТСЯ К ЭТОЙ НИТИ.



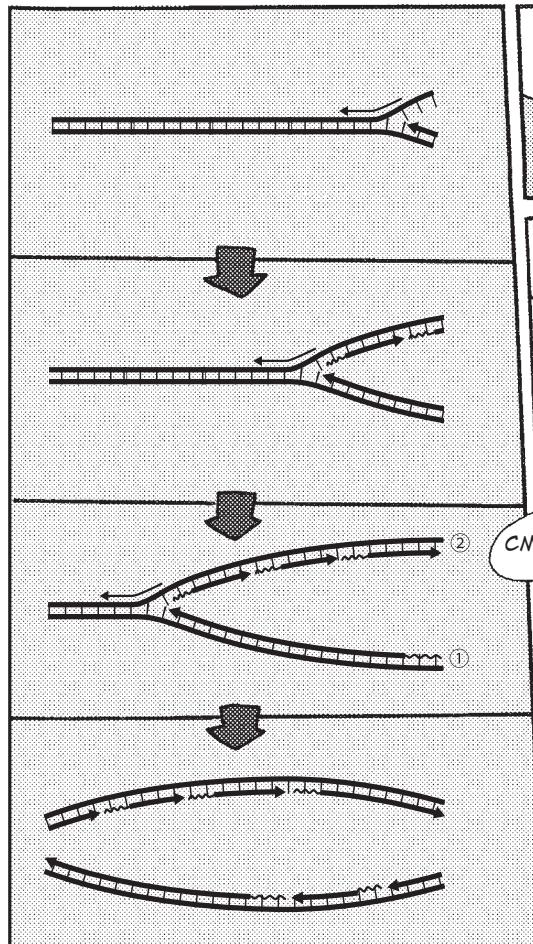
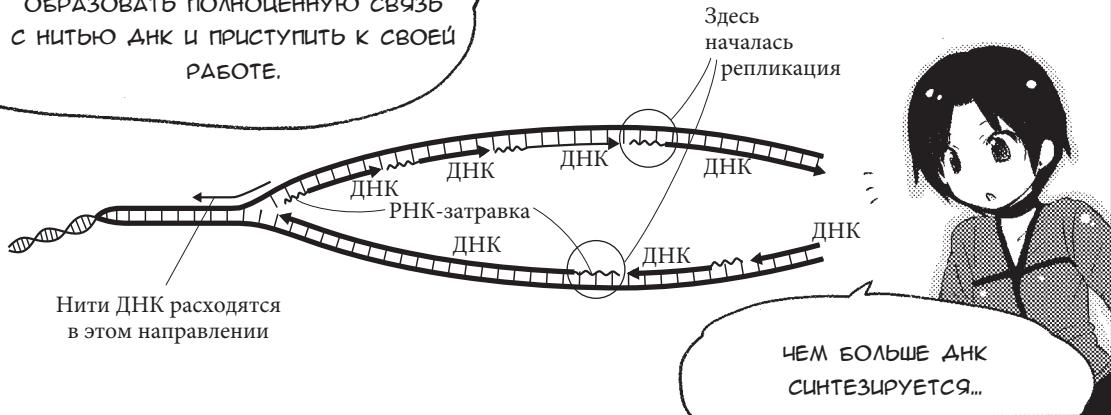
СМОТРИТЕ ВНИМАТЕЛЬНО! ДНК-ПОЛИМЕРАЗА САМА ПО СЕБЕ НЕ ЗАПУСКАЕТ СИНТЕЗ ДНК.



НА САМОМ ДЕЛЕ СИНТЕЗ ДНК НАЧИНАЕТСЯ ПОСЛЕ ТОГО, КАК СИНТЕЗИРУЕТСЯ КОРОТКИЙ ФРАГМЕНТ РНК. ОН НАЗЫВАЕТСЯ РНК-ЗАТРАВКОЙ (РНК-ПРАЙМЕРОМ).

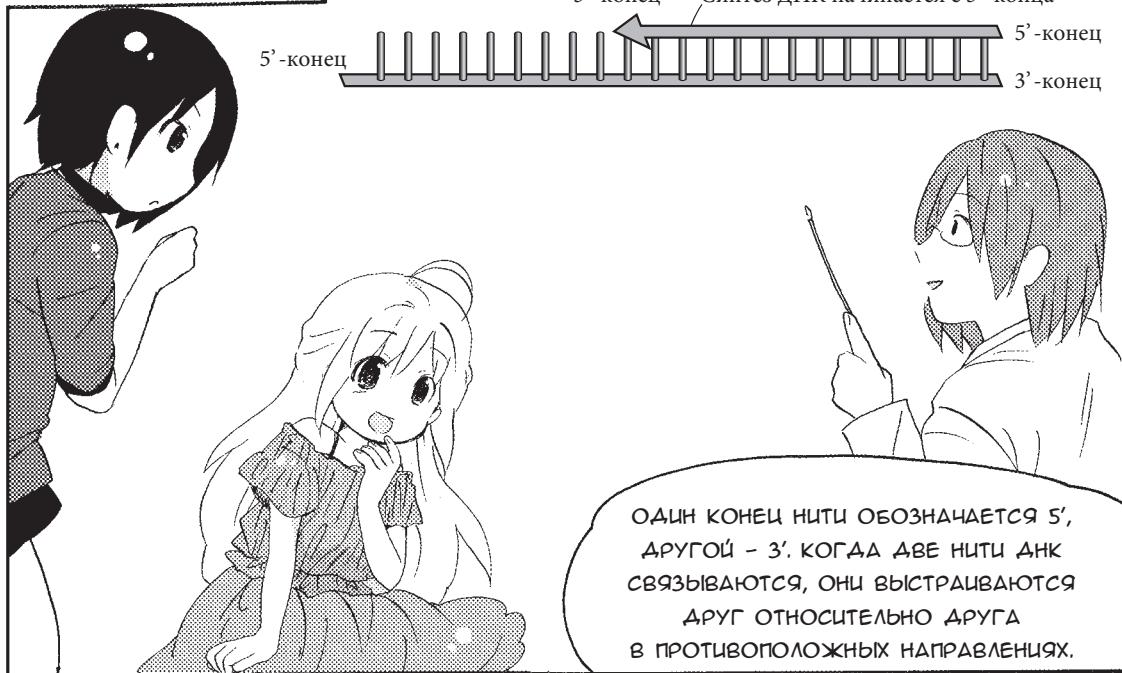


ТОЛЬКО ПОСЛЕ СИНТЕЗА РНК-ЗАТРАВКИ ДНК-ПОЛИМЕРАЗА МОЖЕТ ОБРАЗОВАТЬ ПОЛНОЦЕННУЮ СВЯЗЬ С НИТЬЮ ДНК И ПРИСТУПИТЬ К СВОЕЙ РАБОТЕ.





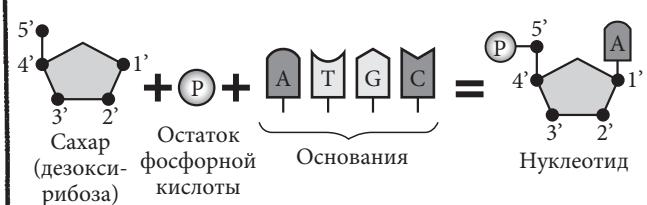
ДВОЙНАЯ СПИРАЛЬ ДНК ФОРМИРУЕТСЯ ИЗ ДВУХ РАЗНОНАПРАВЛЕННЫХ НИТЕЙ, КАК ПОКАЗАНО НА РИСУНКЕ.



ОДИН КОНЕЦ НИТИ ОБОЗНАЧАЕТСЯ 5', ДРУГОЙ - 3'. КОГДА ДВЕ НИТИ ДНК СВЯЗЫВАЮТСЯ, ОНИ ВЫСТРАИВАЮТСЯ ДРУГ ОТНОСИТЕЛЬНО ДРУГА В ПРОТИВОПОЛОЖНЫХ НАПРАВЛЕНИЯХ.

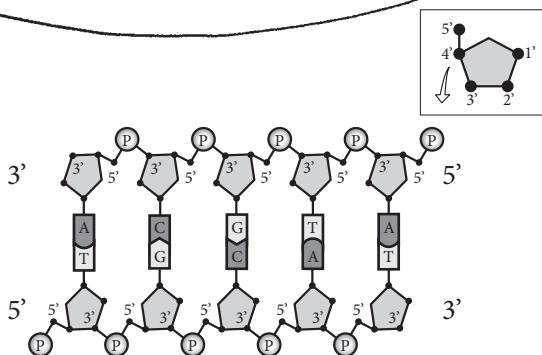


ДЕЛО В ТОМ, ЧТО В МОЛЕКУЛЕ ДЕЗОКСИРИБОЗЫ ПЯТЬ АТОМОВ УГЛЕРОДА. 5-Й И 3-Й - ЭТО НОМЕРА АТОМОВ.



Структура нуклеотида

НА РИСУНКЕ ВИДНО, КАК ПРОНУМЕРОВАНЫ АТОМЫ УГЛЕРОДА В МОЛЕКУЛЕ ДЕЗОКСИРИБОЗЫ.



ТЕПЕРЬ ВИДНО, ЧТО НА РАЗНЫХ КОНЦАХ ДНК НАХОДЯТСЯ АТОМЫ УГЛЕРОДА 3' И 5' В МОЛЕКУЛЕ ДЕЗОКСИРИБОЗЫ.

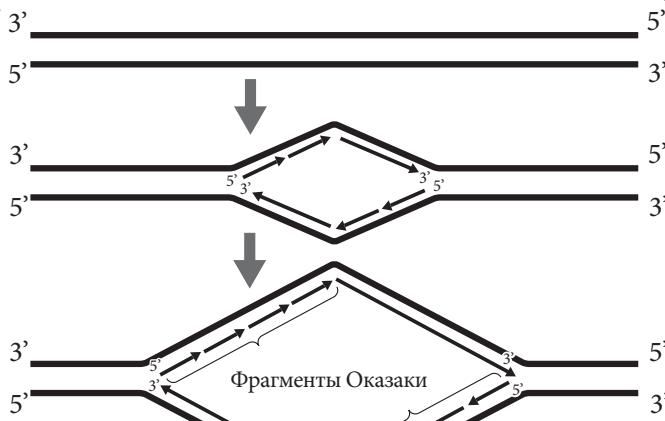
ИМЕННО ТАК!

ДНК-ПОЛИМЕРАЗА МОЖЕТ РЕПЛИЦИРОВАТЬ ДНК ТОЛЬКО В НАПРАВЛЕНИИ ОТ 5'-КОНЦА К 3'-КОНЦУ.



В ИТОГЕ, КОГДА ДВОЙНАЯ СПИРАЛЬ ДНК РАСПЛЕТАЕТСЯ И ОБРАЗУЮТСЯ ДВЕ ОТДЕЛЬНЫЕ НИТЫ,

РЕПЛИКАЦИЯ НАЧИНАЕТСЯ С ДВУХ СТОРОН ОТ 5'-КОНЦА К 3'-КОНЦУ КАЖДОЙ НИТЫ.



КАК ЭТО ПРОИСХОДИТ, ВИДНО НА РИСУНКЕ.



ДНК-ПОЛИМЕРАЗА СИНТЕЗИРУЕТ КОРОТКИЕ ФРАГМЕНТЫ ДНК, КОТОРЫЕ ЗАТЕМ СОЕДИНЯЮТСЯ – ПОЛУЧАЕТСЯ СПЛОШНАЯ НИТЬ..

ЭТОТ МЕХАНИЗМ ОТКРЫЛ ДОКТОР РЕЙДЖИ ОКАЗАКИ. ПОЭТОМУ ЭТИ КОРОТКИЕ ФРАГМЕНТЫ ПОЛУЧИЛИ НАЗВАНИЕ "ФРАГМЕНТЫ ОКАЗАКИ".

ЕСЛИ ВСЁ, О ЧЁМ МЫ ГОВОРИЛИ, ВАМ ЯСНО, ТО МОЖНО СЧИТАТЬ, ЧТО ВЫ ХОРОШО УСВОИЛИ ТЕМУ.

КАЖЕТСЯ, ВСЁ ПОНЯТНО...

А У МЕНЯ ВОЗНИК ВОПРОС.

ПОЧЕМУ РЕПЛИКАЦИЯ ЦАЁТ ТОЛЬКО В НАПРАВЛЕНИИ ОТ 5'-КОНЦА К 3'-КОНЦУ И НИКАК ИНАЧЕ?

НУ, В РАМКАХ КУРСА ДОКТОРА МОРО ЭТА ТЕМА НЕ ИЗУЧАЕТСЯ. ОНА СЛИШКОМ СЛОЖНА ДЛЯ ВОСПРИЯТИЯ... КОРОТКО ГОВОРЯ, ЭТА ОСОБЕННОСТЬ СВЯЗАНА СО СТРУКТУРОЙ ДНК-ПОЛИМЕРАЗЫ.

АГА... СПАСИБО.

Смущён

ПОХОЖЕ, ОН САМ НЕ ЗНАЕТ ОТВЕТА.

ВЗГЛЯНИТЕ! РЕПЛИКАЦИЯ ДНК ЗАВЕРШИЛАСЬ.





3

ЧТО ТАКОЕ ХРОМОСОМА?

❖ «ХРОМОСОМА» ОЗНАЧАЕТ «ОКРАШЕННОЕ ТЕЛО»



Говоря о делении клетки, мы не можем обойти вниманием хромосомы.



И что же это такое?

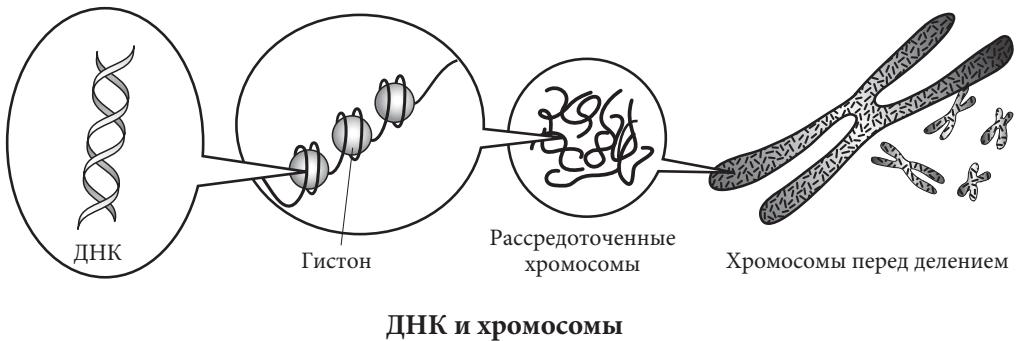


Хромосома содержит ДНК, представленную в особой форме. Она содержит генетическую информацию. Перед тем как клетка начинает делиться, хромосомы подтягиваются к её центру. А в процессе деления каждая из них распадается на две части.

Хромосома – длинная нить, состоящая из *хроматина*. Помните, в главе 1 мы говорили про «цепочку бус»? Это и есть хроматин. Он состоит из белков особого вида – *гистонов*. Нить ДНК обвивает «бусину» за «бусиной», и так образуется плотная субстанция – хроматин.

На самом деле гистоны – это ряд белков: восемь молекул, соединённых друг с другом. По две молекулы одного из четырёх типов: H2A, H2B, H3 и H4.

Хромосомы, каждая из которых представляет собой длинную нить хроматина, обычно рассеяны по ядру таким образом, что их не видно даже под микроскопом. Только перед тем, как клетка начинает делиться, хромосомы уплотняются. В таком виде под микроскопом они уже различимы.



Хромосомы были открыты в XIX веке и получили своё название благодаря способности легко окрашиваться красителями в разные цвета. («Хрома»

по-гречески – «цвет». Этот корень встречается во многих словах: «монохромный», «хроматография» и пр.)

❖ В ОРГАНИЗМЕ ЧЕЛОВЕКА 24 ТИПА ХРОМОСОМ



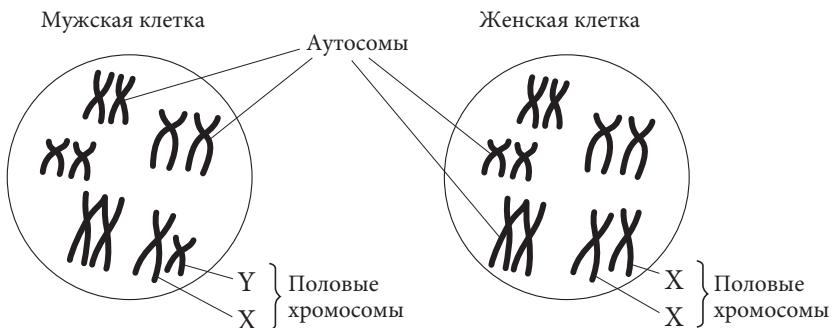
Во всех клетках человеческого организма (за исключением половых) содержится 24 хромосомы.

У разных живых существ количество хромосом неодинаково. При этом оно не зависит от уровня развития: у золотистого карася, например, целых 100 хромосом!

22 из 24 типов хромосом – это аутосомы; их форма не зависит от пола их обладателя. В каждой клетке содержится 23 пары аутосом. Почему они парные? Потому что одна унаследована от матери, другая – от отца.

Каждая аутосома условно пронумерована от 1 до 22 (номер 1 присваивается самой большой из этих хромосом). Помимо аутосом существуют также половые хромосомы. Их два вида: X и Y.

Половые хромосомы определяют пол человека: в клетках мужского организма присутствуют обе разновидности, X и Y, а в клетках женского организма – две хромосомы X.



❖ ХРОМОСОМЫ ВИДНЫ ТОЛЬКО В ПРОЦЕССЕ ДЕЛЕНИЯ КЛЕТКИ



Хромосомы уплотняются и становятся различимыми под микроскопом, только когда реплицированные ДНК и гистоны конденсируются перед делением клетки.

Это вполне объяснимо. Если вам нужно разрезать пополам большой кусок ткани, проще будет его свернуть. Точно так же и клеткам удобнее делиться, когда ДНК уплотнены (конденсированы), а не рассредоточены по всему ядру.

А теперь рассмотрим подробнее деление клетки.

Ч

ПРОЦЕСС КЛЕТОЧНОГО ДЕЛЕНИЯ



Итак, произошла репликация ДНК. Теперь начинается следующая стадия: клетка готовится разделиться надвое. Этот процесс осуществляется в два этапа: митоз и цитокинез.

❖ МИТОЗ



Деление клетки начинается с ядра, где содержится ДНК. Деление содержимого ядра на две части называется *митозом*.



Это, наверное, что-то вроде деления атома? Оно вызывает радиоактивность, в результате которой выделяется атомная энергия.



Неужели у нас в организме происходит что-то похожее?



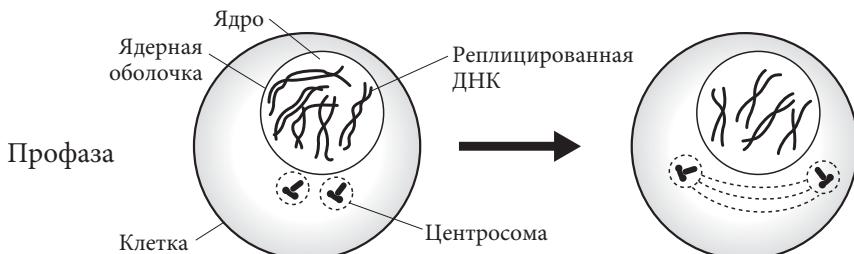
Нет! Ядро клетки – совсем не то же самое, что атомное ядро. Называются они одинаково, но по сути своей не имеют ничего общего. Так что нельзя приравнивать деление клетки к распаду атома.



Уф! Какое облегчение!

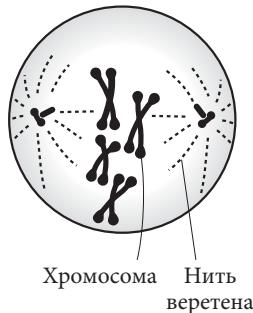


В процессе митоза реплицированная ДНК в хромосомах очень сильно уплотняется и сжимается. В этот момент хромосомы принимают X-образную форму, какими их обычно и изображают на схемах. Центросомы, которые до этого располагались вблизи ядра, смещаются в сторону его полюсов.





Хотя в результате митоза образуется два ядра, ядро не просто делится надвое (как, например, это происходит с хромосомами). В начале митоза ядерная оболочка разрушается, а потом, после деления клетки, когда содержимое ядра уже удвоено, – восстанавливается.



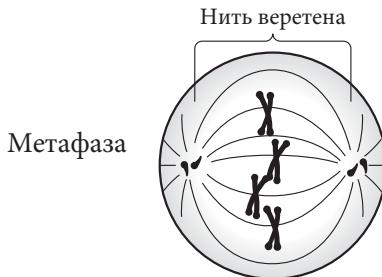
Смотрите! Рядом с центросомой что-то происходит.



Действительно. Из центросом, которые теперь разошлись к разным полюсам ядра, начинают тянуться нитевидные отростки. Это так называемые *нити веретена*, которые состоят из тонких микротрубочек.

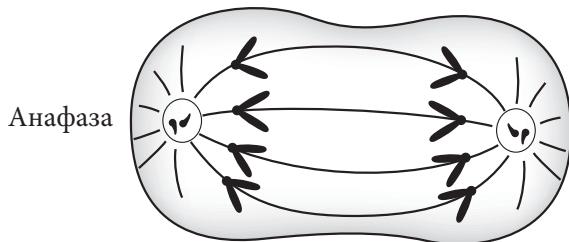
После того как мембрана ядра растворилась, реплицированная ДНК, которая уже начала конденсироваться, выводится в цитоплазму. Этот процесс очень важен.

По завершении процесса конденсации хромосом, которые теперь уже приобретают четкую X-образную форму, нити веретена, вышедшие из центросом, достигают центральной части каждой хромосомы и прочно прикрепляются к ней. Если бы ядерная оболочка к этому моменту не исчезла, она бы послужила для них препятствием.



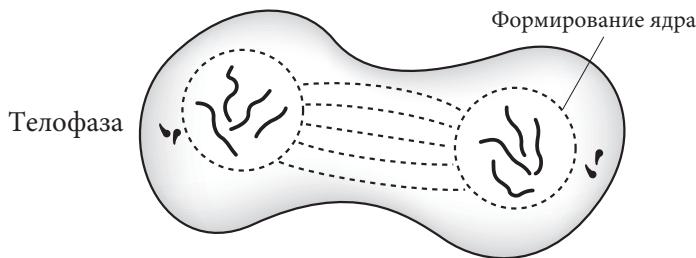


Нити веретена стягивают хромосомы к центру клетки. Этот процесс называется *веретеном деления*, или *митотическим веретеном*.



Во время анафазы нити веретена прикрепляются к хромосомам и направляются к полюсам клетки. Таким образом, и сами хромосомы перемещаются из центра к полюсам.

Оказавшись на разных полюсах, хромосомы начинают расплетаться, возвращаясь в своё исходное состояние. Теперь они снова не видны даже под микроскопом. После этого начинает формироваться ядерная оболочка, которая была растворена в цитоплазме. На каждом полюсе клетки обозначаются контуры ядра.



Чтобы новые клетки оказались жизнеспособными, необходимо, чтобы ДНК реплицировалась и равномерно распределилась по обоим ядрам. Вот почему ядро не может сразу разделиться пополам.

По аналогии с митотическим веретеном вышеописанный процесс называют *митотическим делением* (*митозом*).

❖ ЦИТОКИНЕЗ

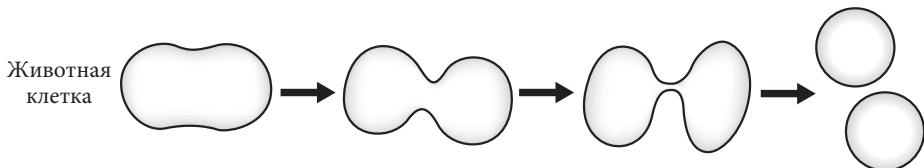


У животных и растений клетки делятся одинаковым способом?

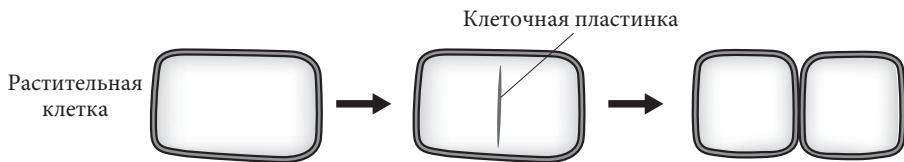


На протяжении митоза различий почти нет. А вот цитокинез, который начинается позже, протекает по-разному. В ходе *цитокинеза* клетка делится надвое.

У животных это происходит так: область в центре клетки утончается и растягивается, пока клетка не «разорвётся» надвое. При этом все органеллы, цитоплазма и питательные вещества распределяются по обеим клеткам в равной пропорции. Это чем-то напоминает приготовление печенья: вы добавляете в тесто изюм, цукаты, шоколадную крошку, а потом нарезаете кружочки, в которых содержатся все компоненты начинки.



Между тем в растительных клетках, окружённых твёрдой клеточной стенкой, цитокинез осуществляется иначе. В центре клетки начинает расти перегородка – клеточная пластина. Она увеличивается до тех пор, пока не разделит клетку на две части.



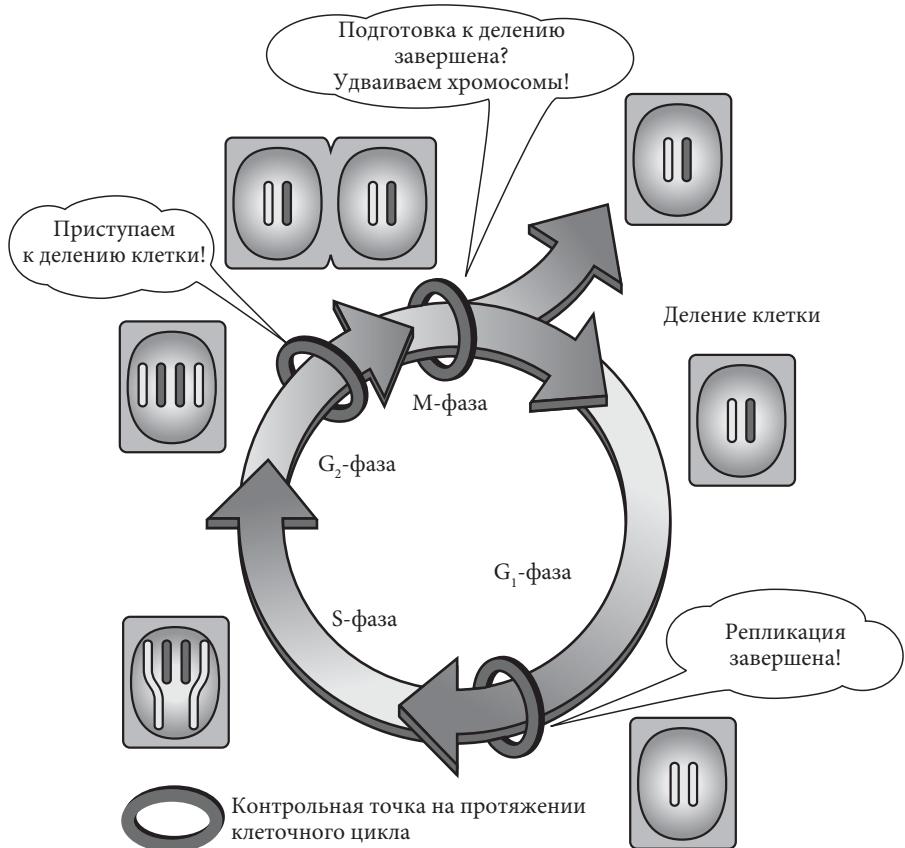
Итак, из одной материнской клетки образовались две дочерние, и в обеих содержится одинаковая ДНК.

5 ЧТО ТАКОЕ КЛЕТОЧНЫЙ ЦИКЛ?

Некоторые клетки делятся непрерывно, а некоторые – нет. Скорость деления клеток зависит от их функции. Базальные клетки (см. стр. 105) в нижнем слое эпидермиса делятся очень быстро, поскольку кожный покров непрерывно обновляется. Срок жизни базальных клеток относительно невелик.

Как вы уже знаете, деление клетки предваряют подготовительные процессы: ДНК реплицируется, хроматин в хромосомах конденсируется, ядерная оболочка растворяется. И только после того, как содержимое клетки удвоилось, происходит деление.

При этом существует несколько «контрольных точек» – периодов, в которые происходит «проверка на ошибки» в ходе деления.



В клетках, которые делятся многократно, все эти этапы повторяются снова и снова. Процесс однократного деления называется *клеточным циклом*. В нем условно выделяют 4 фазы:

G_1 -фаза. Подготовка к репликации ДНК. В это время образуются ферменты, необходимые для репликации (в S-фазе), а также другие необходимые для клетки белки. Можно рассматривать G_1 как первую стадию роста клетки.



S-фаза. Происходит репликация ДНК. Буква «S» означает синтез (применительно к ДНК).



G_2 -фаза. Клетка готовится к делению. В это время в ней образуются микротрубочки, которые понадобятся в M-фазе. G_2 – вторая фаза роста клетки и синтеза белков. Фазы G_1 , S и G_2 относят к интерфазе.

Вы уже догадываетесь, что интерфаза занимает больше времени, чем собственно деление клетки (M-фаза).



M-фаза – период митоза и цитокинеза (буква «M» обозначает митоз).



6

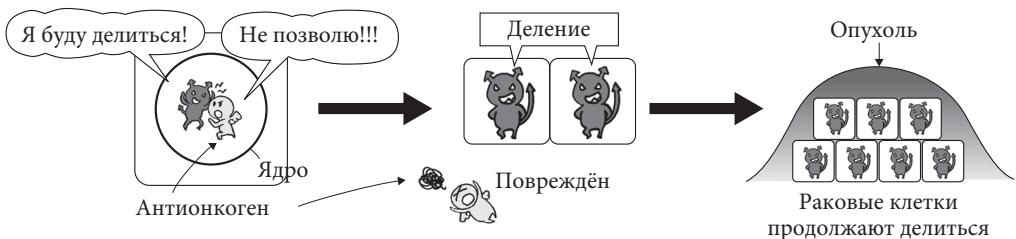
ПОЧЕМУ ВОЗНИКАЕТ РАК?

Раковая клетка – это обычная клетка, которая перерождается и в результате мутации приобретает нехарактерные для неё свойства. Изменения на генном уровне приводят к бесконтрольному размножению таких клеток в ущерб всем остальным. В итоге разрастается опухоль, которая «крадёт» энергию и питательные вещества у других клеток ткани. Сначала эта опухоль становится различима под микроскопом; впоследствии она уже видна невооружённым глазом.

Существует много причин, по которым обычная клетка может переродиться в раковую. Но независимо от того, как это произошло, все раковые клетки отличаются одним основным свойством: неконтролируемо размножаются, поскольку гены, отвечающие за скорость деления, у них повреждены (вышли из-под контроля).



Деление обычных клеток контролируют так называемые гены-супрессоры, или антионкогены. Они «притормаживают» процесс деления в его «контрольных точках», чтобы он не протекал слишком быстро. Однако если антионкогены претерпели мутацию, они больше не могут выполнять свою роль. Как только «тормоз» ослабевает, клетки начинают делиться в ускоренном темпе.



Гены некоторых раковых клеток, отвечающие за скорость их размножения, тоже могут повредиться, и тогда процесс деления становится сверхбыстрым. В этом случае гены-супрессоры совсем перестают работать. Раковые клетки множатся и затрудняют нормальное функционирование тканей и органов.

Многоклеточный организм можно рассматривать как сообщество клеток, каждой из которых отведены свои задачи. Эти клетки работают «в команде», не превышая своих полномочий. Раковые клетки в этом случае похожи на бандитов, которые захватывают власть и перетягивают на свою сторону всё новых и новых единомышленников, попирая закон и нарушая общественный порядок.

Ч

КАК СОЗДАЁТСЯ
БЕЛОК

Дж

1

ГЕН СТАНОВИТСЯ АКТИВНЫМ ПОСЛЕ ТРАНСКРИПЦИИ

❖ КАК СОЗДАЁТСЯ БЕЛОК



А ЧТО ЕСЛИ ЕГО ВОВСЕ
НЕ СУЩЕСТВУЕТ!?

ЧТО ЕЩЁ
ЗА ШУТОЧКИ?

ТРАМ-ТАМ-
ТА-А-А-М!!

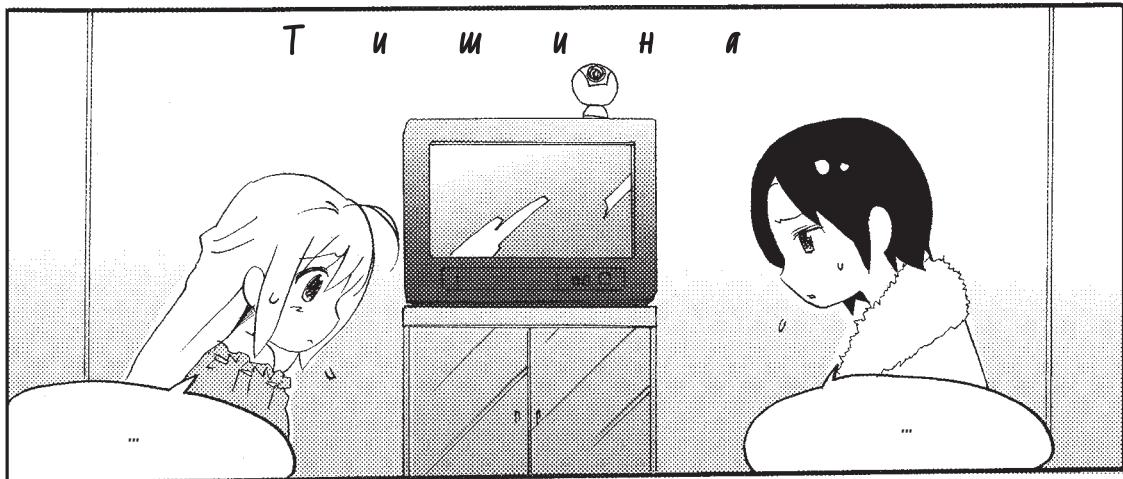
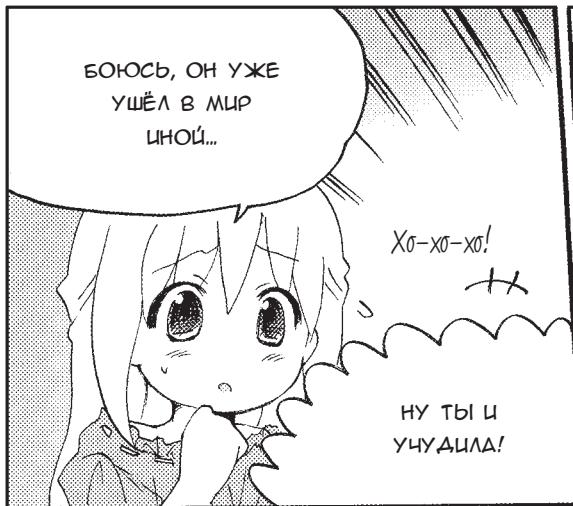
ОТКУДА ЭТИ
ЗВУКИ? А-А, ЭТО
ТЕЛЕВИЗОР.

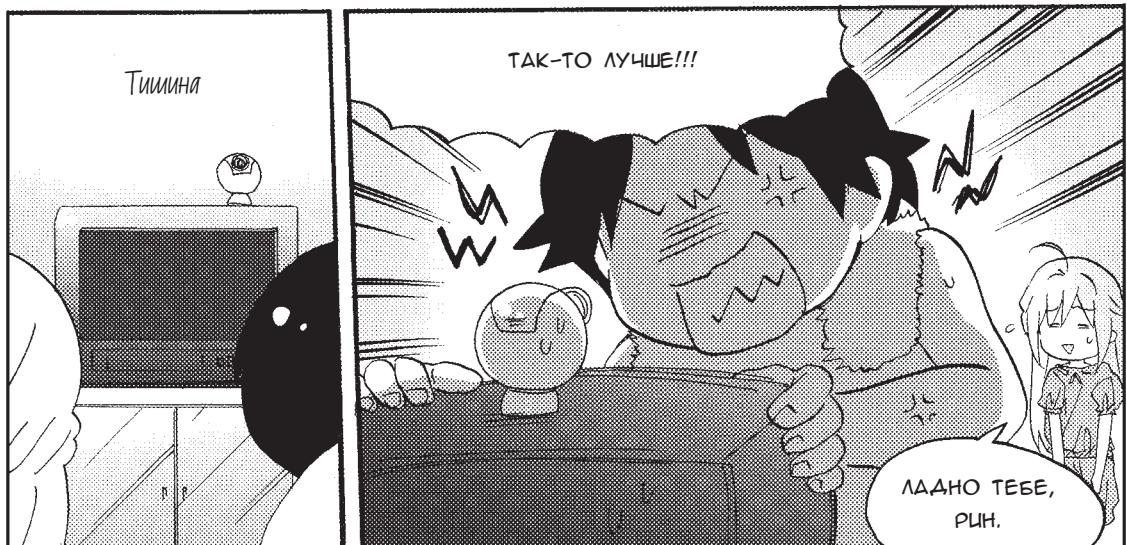
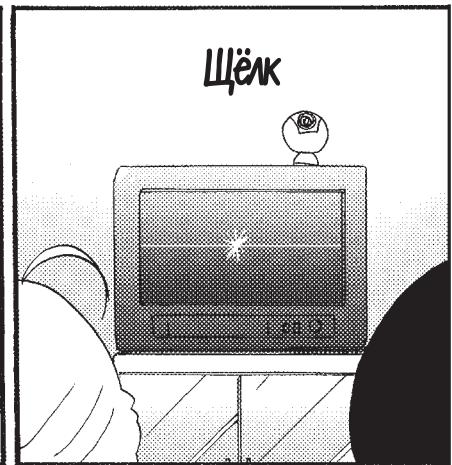
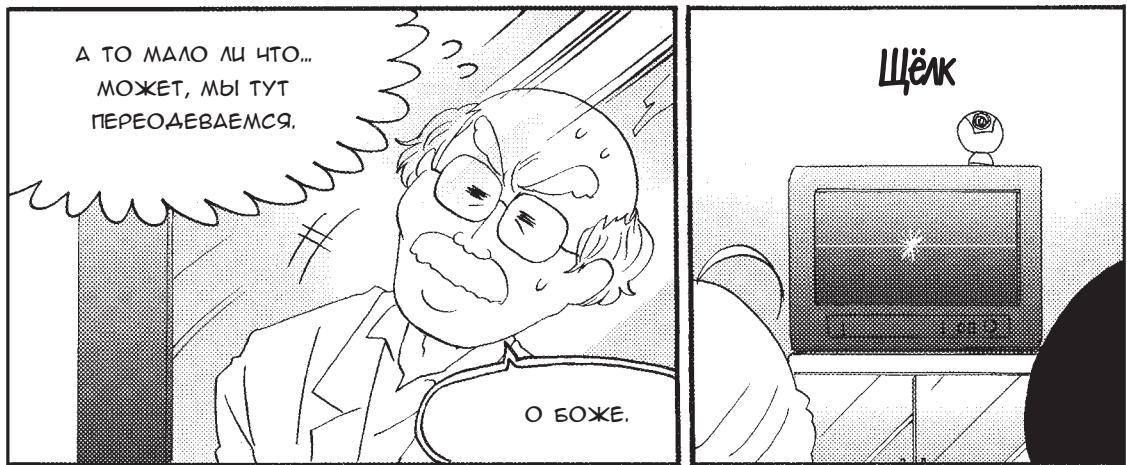
ЩЁЛК

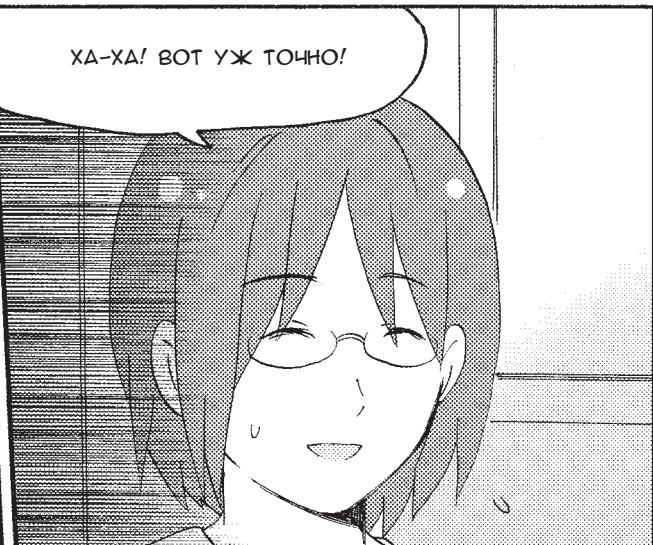
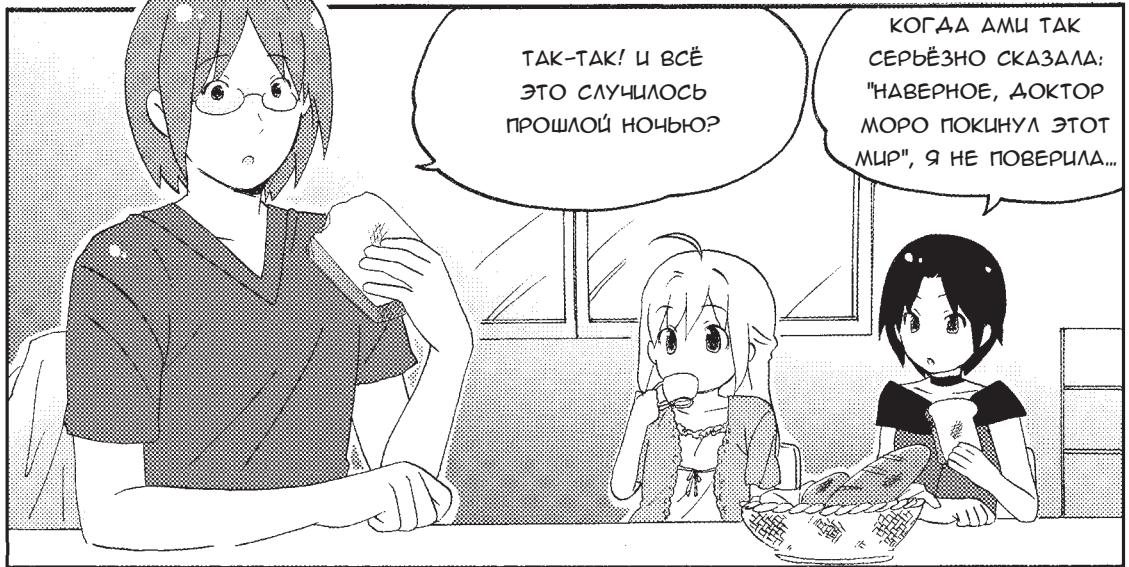
ЛАДНО...

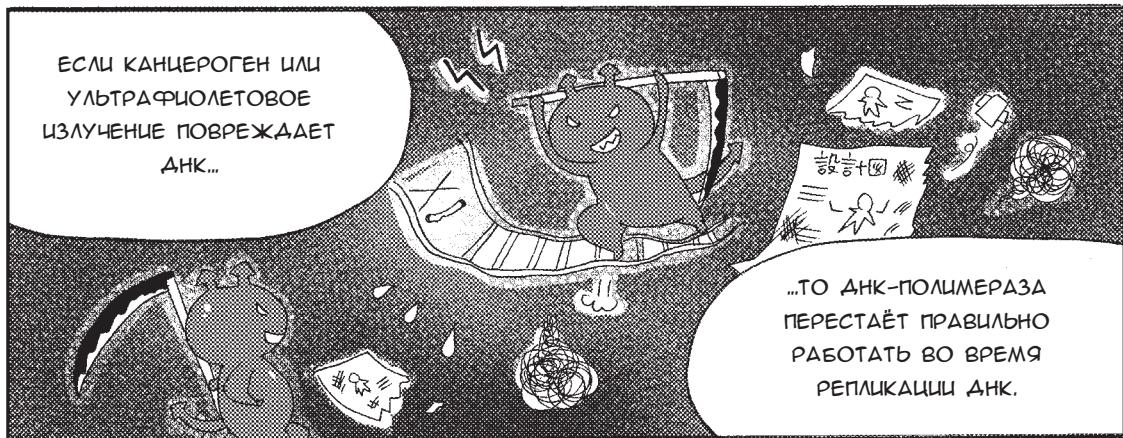
ТАК ЧТО
У НАС ТАМ
С ДОКТОРОМ
МОРО?

НУ...



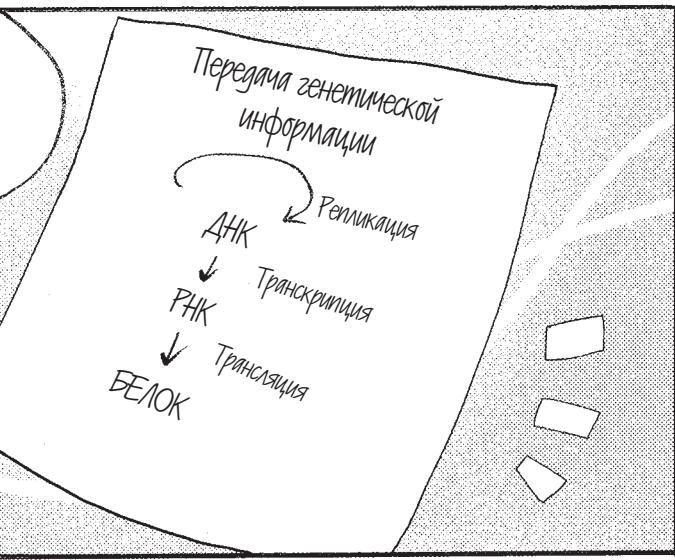
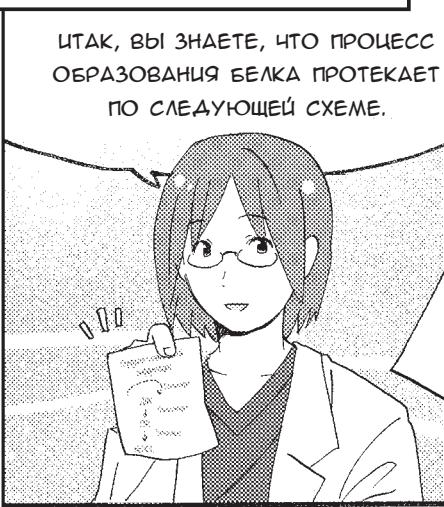




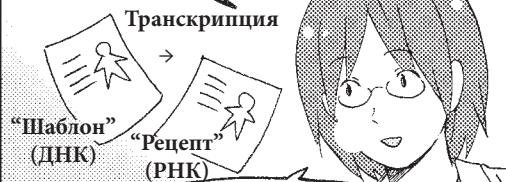




❖ ТРАНСКРИПЦИЯ



ИТАК, ЕСЛИ ДНК ВЫСТУПАЕТ В КАЧЕСТВЕ "ШАБЛОНА", ТО РНК - ЭТО ГОТОВАЯ ИНСТРУКЦИЯ.



ТРАНСКРИПЦИЯ - ЭТО ПРОЦЕСС СОЗДАНИЯ ИНСТРУКЦИИ ПО ПОЛЬЗОВАНИЮ ШАБЛОНОМ.

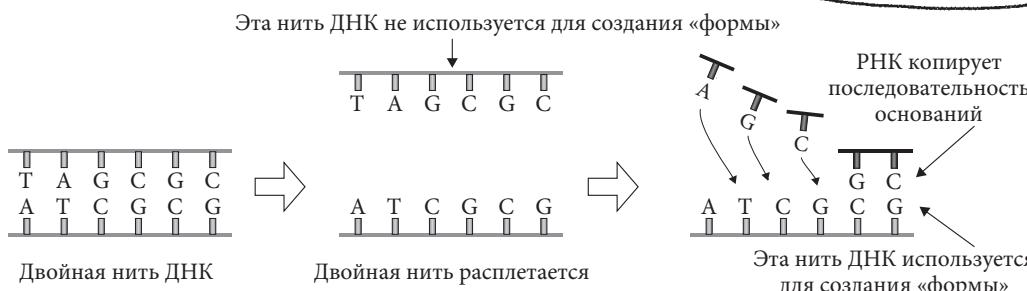
ВЧЕРА МЫ ОБСУЖДАЛИ РЕПЛИКАЦИЮ, А СЕГОДНЯ ПОДРОБНО РАССМОТРИМ ТРАНСКРИПЦИЮ.



МНЕ ПРЕДСТАВЛЯЕТСЯ ЧТО-ТО ВРОДЕ ТЕРМОАППЛИКАЦИИ НА ТКАНИ.

НА САМОМ ДЕЛЕ ТРАНСКРИПЦИЯ В МОЛЕКУЛЯРНОЙ БИОЛОГИИ ОЗНАЧАЕТ НЕСКОЛЬКО ЧНОЕ.

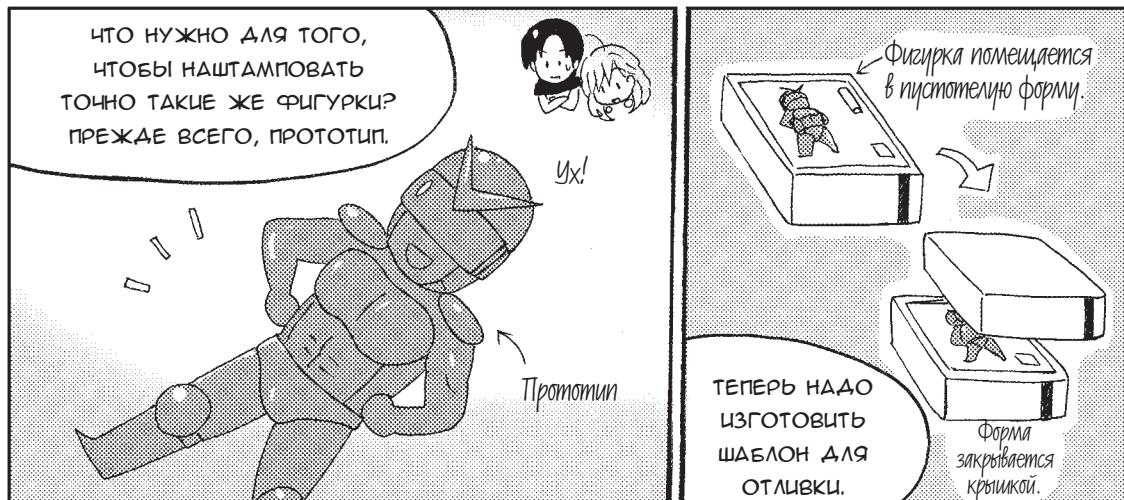
РНК СОЗДАЕТСЯ МЕТОДОМ КОПИРОВАНИЯ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ ОСНОВАНИЙ В ДНК. ЭТА ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ В РНК СТАНОВИТСЯ ЧЕМ-ТО ВРОДЕ ЛИТЕЙНОЙ ФОРМЫ.



ЧТО-ТО МАЛОПОНЯТНО.

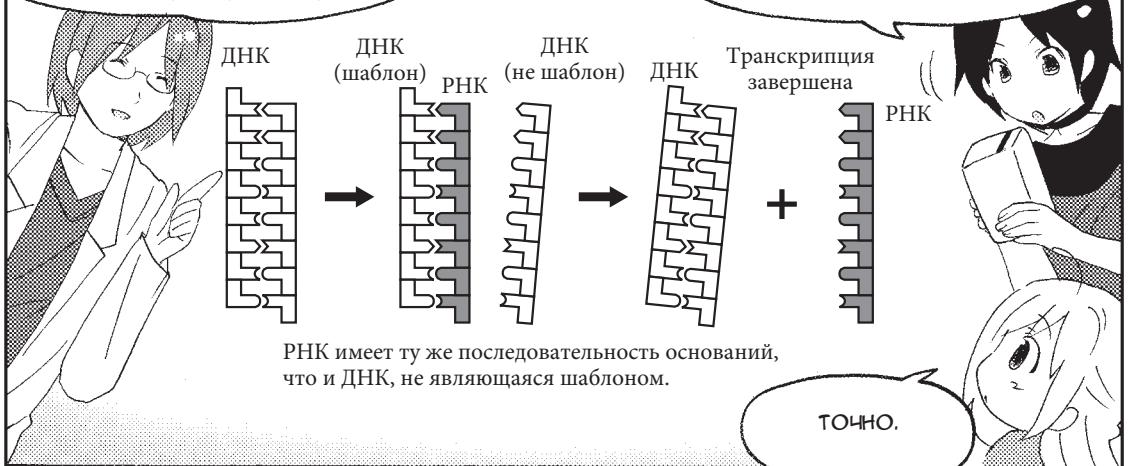
ПОЯСНО НА НАГЛЯДНОМ ПРИМЕРЕ.

ВОЗЬМЁМ В КАЧЕСТВЕ ОБРАЗЦА ФИГУРКУ СУПЕРФЕРМЕНТА!



ПРИМЕРНО ТАК ЖЕ ОСУЩЕСТВЛЯЕТСЯ ТРАНСКРИПЦИЯ – СИНТЕЗ РНК С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ДНК В КАЧЕСТВЕ ШАБЛОНА.

ДНК ЯВЛЯЕТСЯ "ПРОТОТИПОМ" ДЛЯ "ОТЛИВКИ" РНК...



ПРЕДСКАМЫ ГОВОРЯТ О "КОПИРОВАНИИ", НО ПО-НАУЧНОМУ ЭТО НАЗЫВАЕТСЯ "ТРАНСКРИПЦИЯ ГЕНЕТИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ".

ГЕН НАЧИНАЕТ ПОСТРОЕНИЕ БЕЛКА ТОЛЬКО ПО ЗАВЕРШЕНИИ ТРАНСКРИПЦИИ.

НА САМОМ ДЕЛЕ ГЕН, УЧАСТВУЮЩИЙ В ТРАНСКРИПЦИИ, ЗАВИСИТ ОТ ТИПА КЛЕТКИ.

Невероятно!

ТРАНСКРИПЦИЯ НЕКОТОРЫХ ГЕНОВ ВОЗМОЖНА В ЛЮБЫХ КЛЕТКАХ.

ДРУГИЕ ГЕНЫ ТРАНСКРИБИРУЮТСЯ, НАПРИМЕР, ТОЛЬКО В НЕРВНЫХ КЛЕТКАХ ИЛИ КЛЕТКАХ ПЕЧЕНИ.

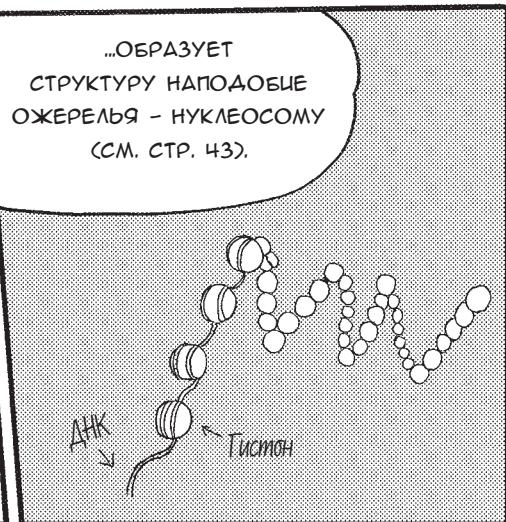
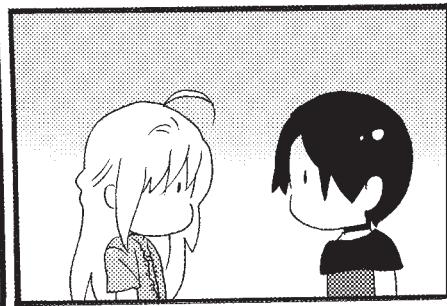




2

ХРОМАТИН И ТРАНСКРИПЦИЯ

❖ ТЯНЕМ "ТЕЛЕФОННЫЙ ПРОВОД"



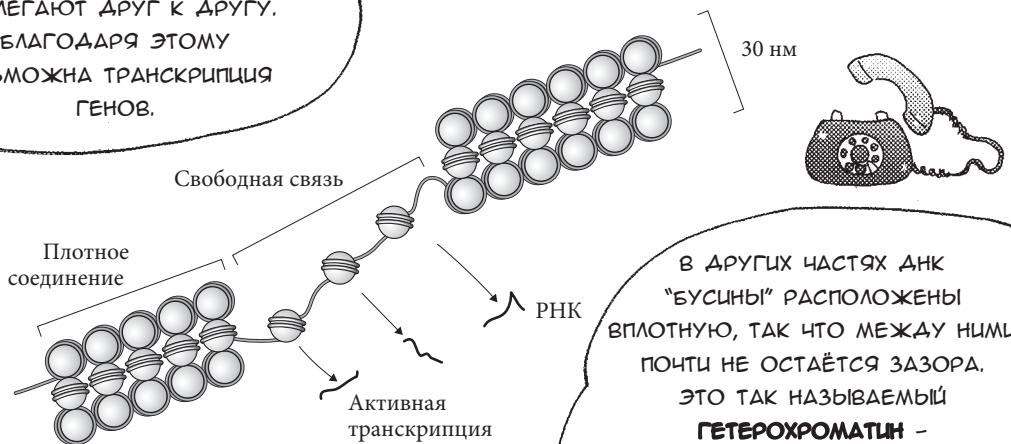
ЭТИ "НИТКИ БУС"
СОЕДИНЯЮТСЯ ДРУГ
С ДРУГОМ, ОБРАЗУЯ
ХРОМАТИН.

Плохое на чешки...



СУЩЕСТВУЮТ
ДВЕ РАЗНОВИДНОСТИ ХРО-
МАТИНА. ОТЛИЧИЕ СОСТОИТ
В ИСПОЛЬЗОВАНИИ ДНК.

В ОТДЕЛЬНЫХ ЧАСТЯХ ДНК
"БУСИНЫ" НЕПЛОТНО
ПРИЛЕГАЮТ ДРУГ К ДРУГУ.
БЛАГОДАРЯ ЭТОМУ
ВОЗМОЖНА ТРАНСКРИПЦИЯ
ГЕНОВ.

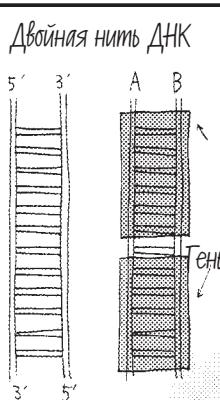


В ДРУГИХ ЧАСТЯХ ДНК
"БУСИНЫ" РАСПОЛОЖЕНЫ
ВПЛОТНУЮ, ТАК ЧТО МЕЖДУ НИМИ
ПОЧТИ НЕ ОСТАЁТСЯ ЗАЗОРА.
ЭТО ТАК НАЗЫВАЕМЫЙ
ГЕТЕРОХРОМАТИН -
ТРАНСКРИПЦИЯ НА ЭТИХ УЧАСТКАХ
НЕВОЗМОЖНА.

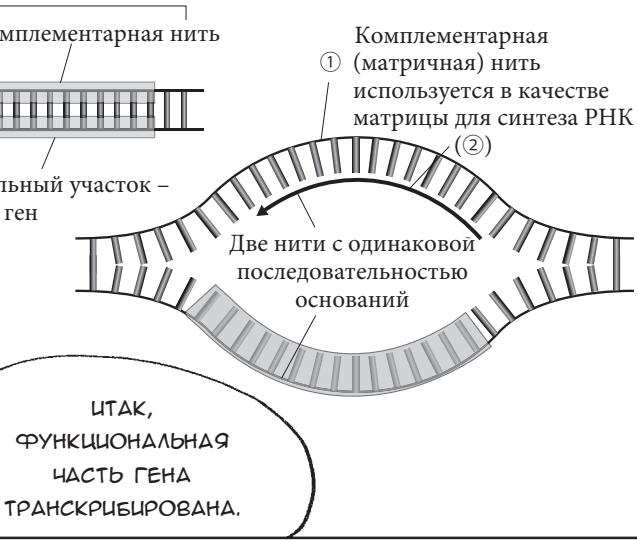
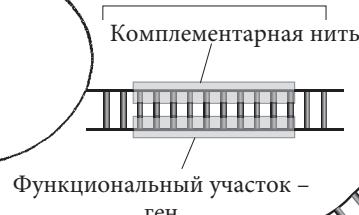
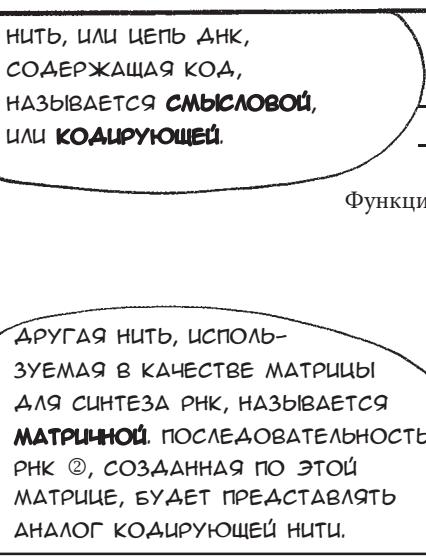
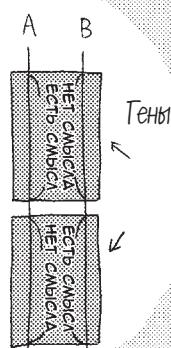
ОБЫЧНО ХРОМАТИН НАХОДИТСЯ
ИМЕННО В ТАКОМ СОСТОЯНИИ.
НО В СЛУЧАЕ, КОГДА НЕОБХОДИМА
ТРАНСКРИПЦИЯ, ОН
РАСТЯГИВАЕТСЯ.



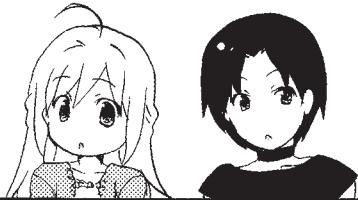
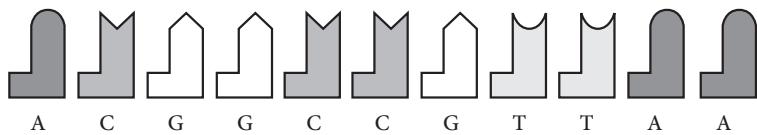
❖ МРНК СИНТЕЗИРУЕТСЯ, ИСПОЛЬЗУЯ ОДНУ ИЗ НИТЕЙ ДНК КАК ШАБЛОН



...с комплементарными последовательностями оснований.

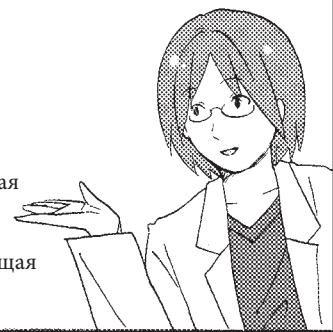
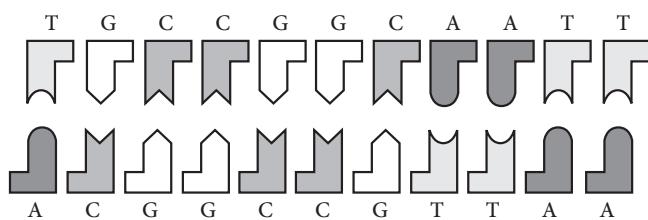


ИТАК, ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ ЧАСТЬ ГЕНА ТРАНСКРИБИРОВАНА.

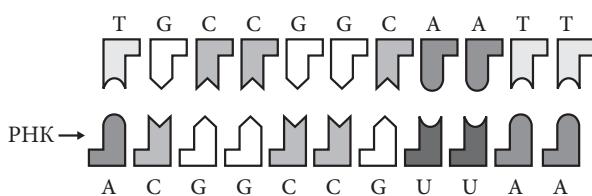


КАК УЖЕ
ГОВОРИЛОСЬ В ГЛАВЕ 3,
ЕСЛИ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ
ОСНОВАНИЙ КОДИРУЮЩЕЙ НИТИ -
ACGGCCGTTAA...

...ТО У МАТРИЧНОЙ НИТИ БУДЕТ
ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ
TGCCGGCGATT.

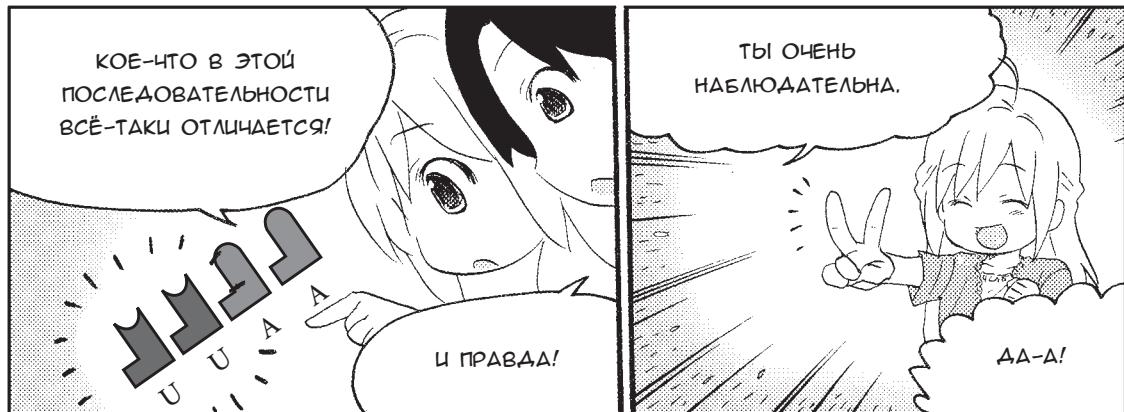


ПОСКОЛЬКУ ТГССГГСГААТТ ВЫСТУПАЕТ
В КАЧЕСТВЕ МАТРИЦЫ,
СИНТЕЗИРОВАННАЯ РНК ИМЕЕТ
ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ АСГГССГГИАА,
КАК У КОДИРУЮЩЕЙ НИТИ ДНК.



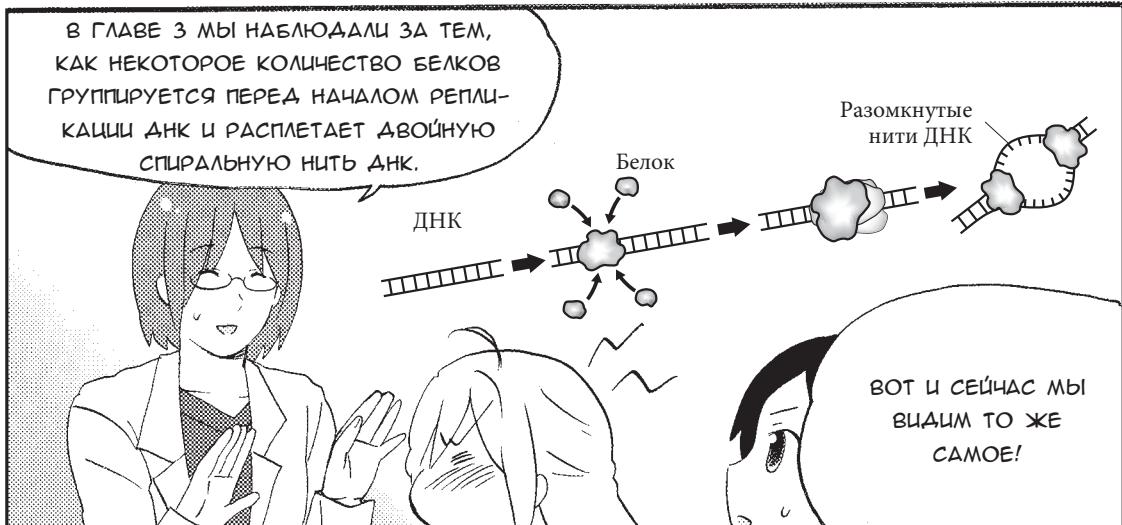
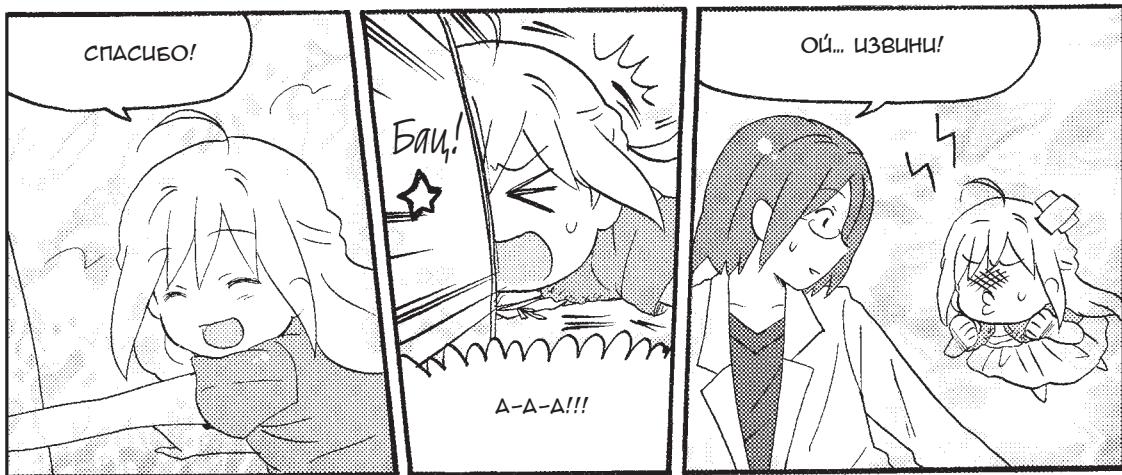
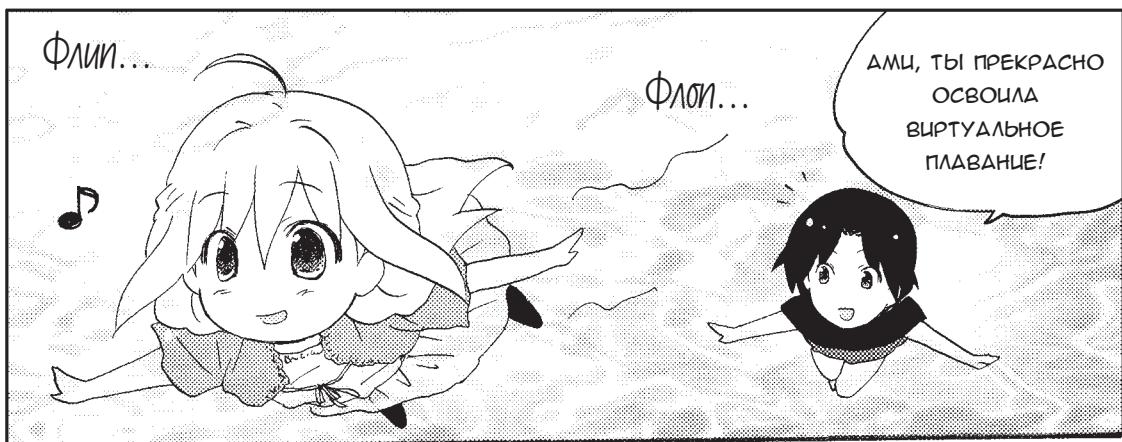
НО...

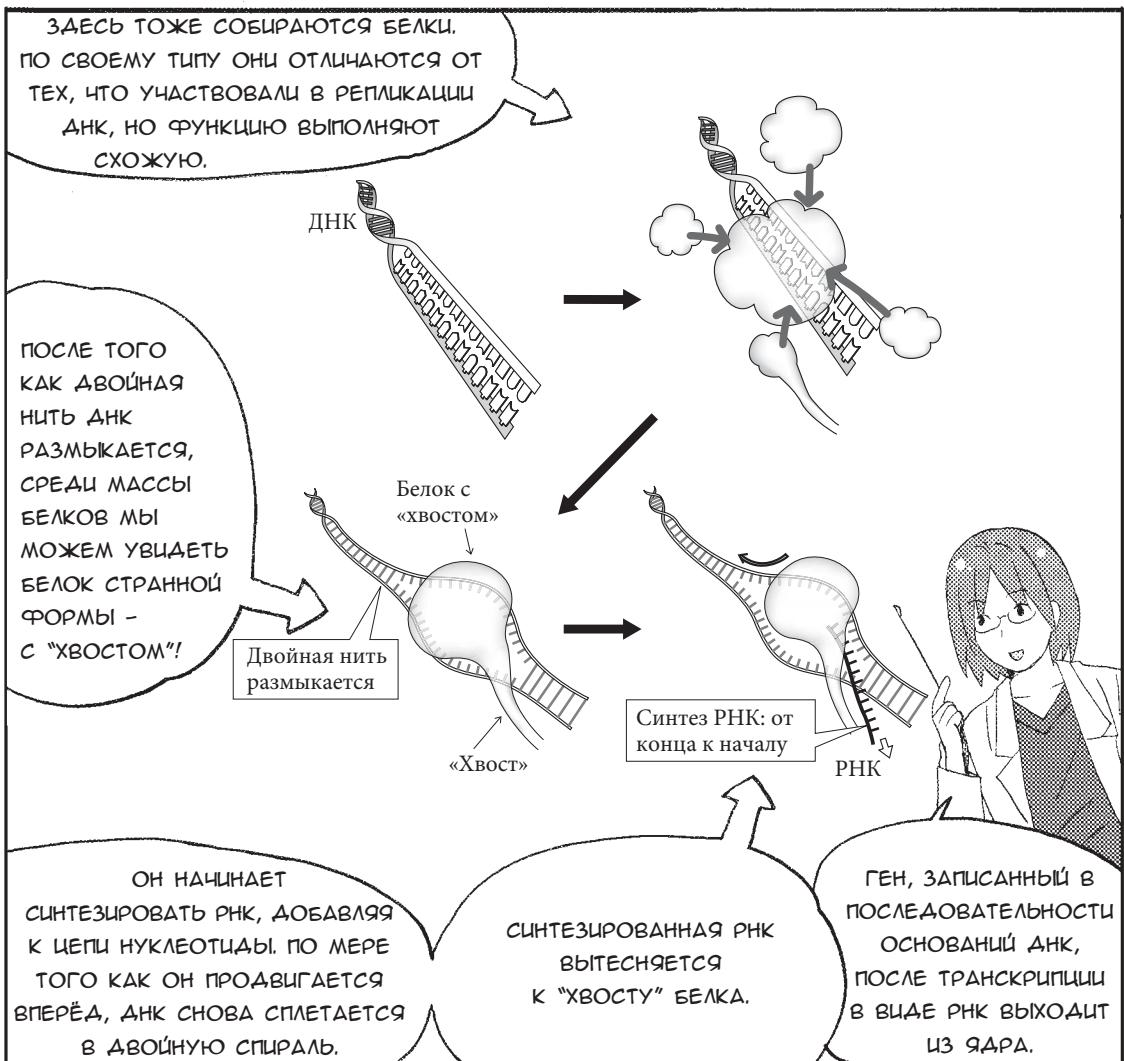
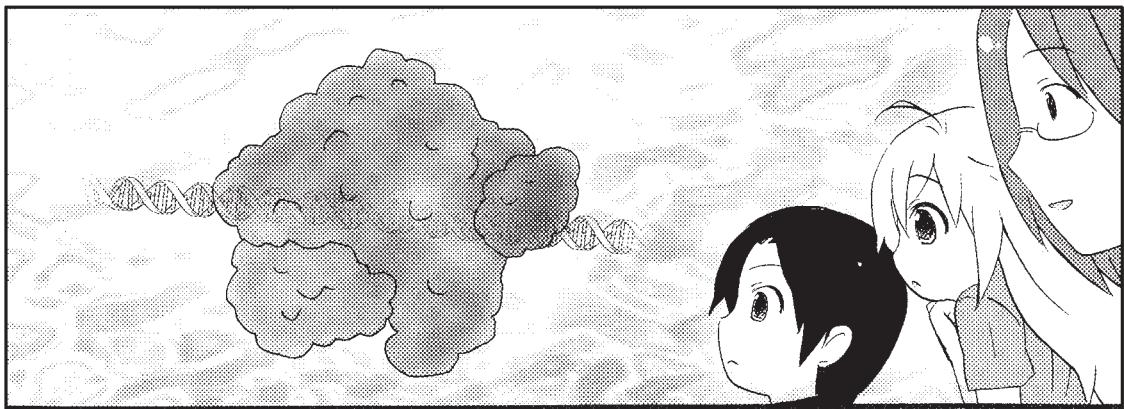
ЧТО-ТО НЕ ТАК,
АМИ?

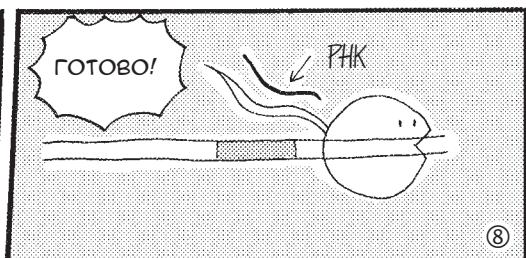
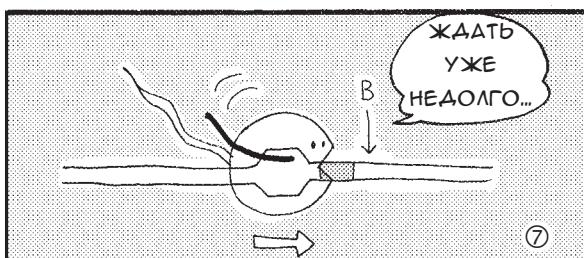
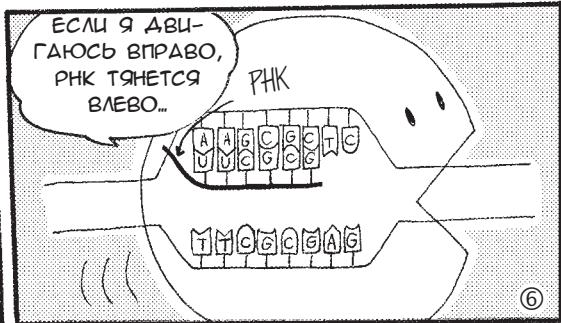
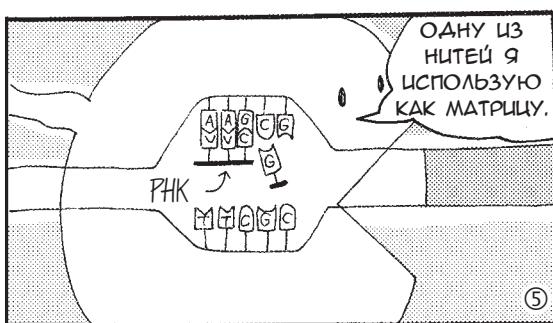
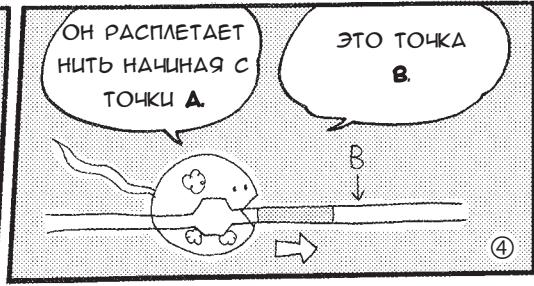


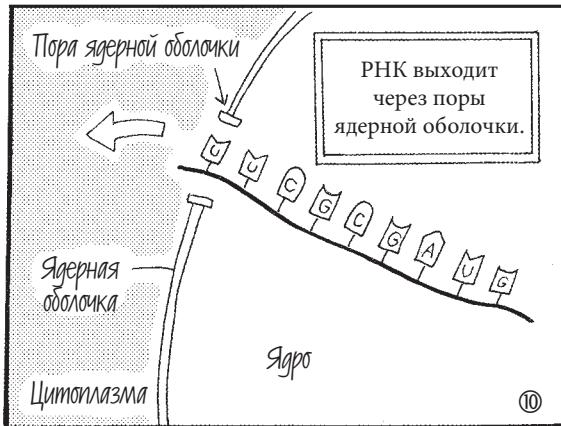
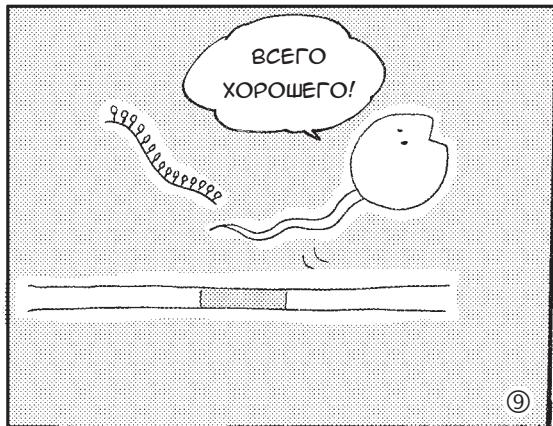
❖ РНК-ПОЛИМЕРАЗА КОПИРУЕТ ГЕНЕТИЧЕСКУЮ ИНФОРМАЦИЮ











ДНК КОПИРУЕТСЯ, И РНК ПЕРЕДАЁТ ГЕНЕТИЧЕСКУЮ ИНФОРМАЦИЮ РИБОСОМАМ. НА ЭТОМ ОСНОВАН МЕХАИЗМ СИНТЕЗА БЕЛКОВ ЗА ПРЕДЕЛАМИ ЯДРА.



* У ЭУКАРИОТИЧЕСКИХ ОРГАНИЗМОВ ЭТОТ БЕЛОК НАЗЫВАЕТСЯ РНК-ПОЛИМЕРАЗОЙ II.

❖ ОБРЕЗАНИЕ КОНЦОВ ТРАНСКРИБИРОВАННОЙ МРНК

У РНК-ПОЛИМЕРАЗЫ
ЕСТЬ "ХВОСТ".



ПО-НАУЧНОМУ ОН
НАЗЫВАЕТСЯ
**КАРБОКСИКОНЦЕВОЙ
ДОМЕН (ККД).**

СИНТЕЗИРОВАННАЯ РНК
ДВИЖЕТСЯ ВОВНЕ ВДОЛЬ
ЭТОГО "ХВОСТА".

ККД



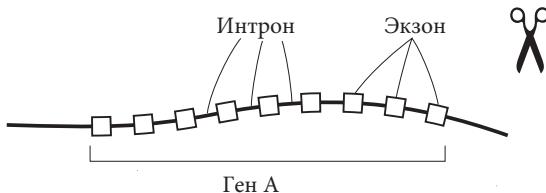
ПОСЛЕ ТОГО КАК
ПОЛИМЕРАЗА ВЫСТРАИВАЕТ
НУКЛЕОТИДЫ В НУЖНОЙ
ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ, С РНК
ПРОИСХОДИТ МНОГО ВСЕГО
ИНТЕРЕСНОГО.

НО Я СЕЙЧАС
ОСТАНОВЛЮСЬ ТОЛЬКО
НА ОДНОМ ПРОЦЕССЕ.

ГЕНЫ, ТО ЕСТЬ МАТРИЦА
БЕЛКОВ, СОДЕРЖАЩАЯСЯ
В ДНК, "ПОРЕЗАНЫ"
НА КУСКИ.

ДНК — Ген А

Ген
в увеличенном
масштабе



НА КУСКИ?

МАТРИЦА
РАЗРЕЗАНА?!

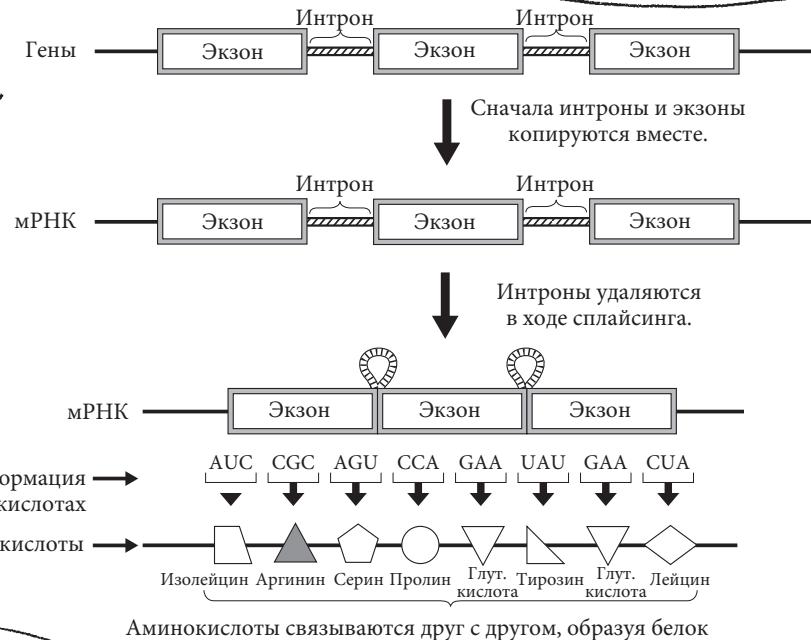
Как?!



ДА. ГЕНЫ СОСТОЯТ ИЗ ИН-
ТРОНОВ И ЭКЗОНОВ. ИНТРОНЫ -
НЕКОДИРУЮЩАЯ ЧАСТЬ НУКЛЕИНО-
ВЫХ КИСЛОТ - УДАЛЯЮТСЯ ИЗ ПО-
СЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ РНК... ОСТАЁТСЯ
КОДИРУЮЩАЯ ЧАСТЬ - МРНК.

КОГДА РНК-ПОЛИМЕРАЗА ВПЕРВЫЕ СИНТЕЗИРУЕТ мРНК...

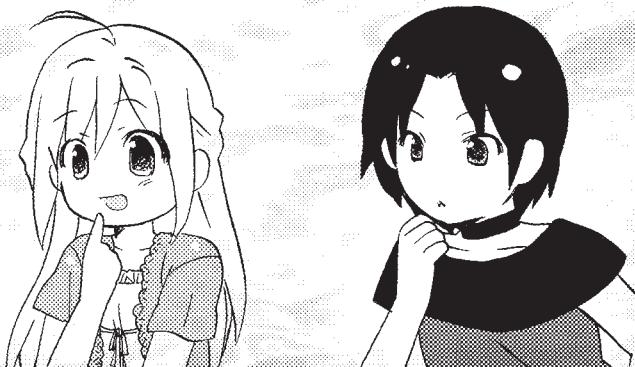
...ОНА ТРАНСКРИБИРУЕТ ВСЁ, ВКЛЮЧАЯ ИНТРОНЫ.



ПОКА ИНТРОНЫ НЕ БУДУТ УДАЛЕНЫ, мРНК НЕ СМОЖЕТ ПРЕДОСТАВИТЬ ТОЧНЫЕ ИНСТРУКЦИИ ПО СОЗДАНИЮ БЕЛКА.

ПРОЦЕСС УДАЛЕНИЯ ИНТРОНОВ НАЗЫВАЕТСЯ СПЛАЙСИНГОМ.

ПРОИСХОДИТ ЭТО ПРИ УЧАСТИИ ОСОБЫХ ФЕРМЕНТОВ - СПЛАЙСОСОМ.



❖ ПЕРЕСТАНОВКА ЭКЗОНОВ



Маркус, почему гены разрезаны?



Этот вопрос изучается. На этот счёт существует несколько теорий.

У примитивных организмов вроде бактерий нет инtronов. После сплайсинга гены легче смешиваются, что упрощает эволюционный процесс.

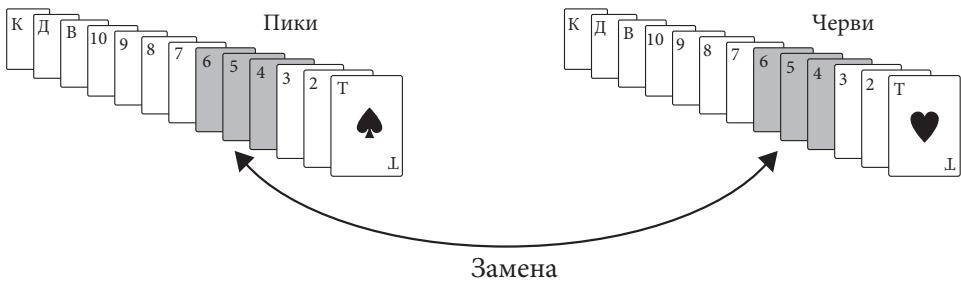


Смешивание генов необходимо для эволюции?



Представим, что ген – это что-то вроде набора игральных карт. К примеру, один ген представляет собой карты от туза до короля пик, другой – карты от туза до короля червей. При этом каждая карта – это экзон. И «пиковый», и «червонный» ген содержит по 13 экзонов. Расстояния между картами заполнены инtronами.

В процессе эволюции четырёка, пятёрка и шестёрка пик заменяются четырёкой, пятёркой и шестёркой червей, и наоборот.



Каждый экзон состоит из нескольких пар оснований. Инtronы между картами позволяют экзонам меняться, при этом не нарушая последовательности внутри самого экзона. Этим обусловлено разнообразие особей, принадлежащих к одному и тому же виду.



Когда между двумя генами происходит обмен экзонами, образуется новый ген. В геноме человека выявлены схожие экзоны в совершенно разных генах. Это подтверждает, что гены, выполняющие разные функции, обменивались экзонами между собой.



У-ух...



Простите, если я слишком сложно выражаюсь.



ЧТО ТАКОЕ РНК?

❖ ОСНОВАНИЯ РНК



Вы уже усвоили, что РНК образуется в ходе транскрипции ДНК?



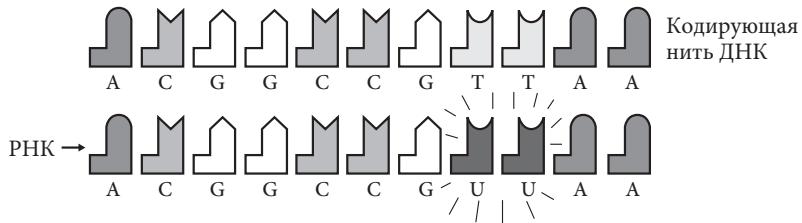
Да. При этом РНК представляет собой копию ДНК. Получается, они идентичны?



Нет. Как вы заметили ранее, РНК незначительно отличается от матрицы.



Точно!



Сейчас поясню разницу.

В главе 2 мы рассмотрели 4 типа азотистых оснований ДНК: А (аденин), Г (гуанин), С (цитозин) и Т (тимин).

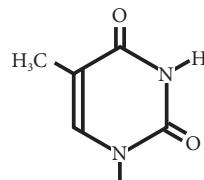
Также вы узнали, что ген представляет собой код, записанный в последовательности этих четырех оснований.

И в ДНК и РНК этот код одинаков, так?

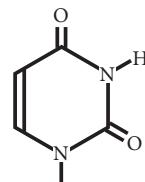
С одной стороны, да. С другой – нет!

Как это?

Три основания РНК и ДНК совпадают: А, Г и С. А вот четвёртое отличается. В ДНК это Т (тимин), а в РНК – У (урацил).



Тимин (T)



Урацил (U)



Но почему?



Этот вопрос по-прежнему занимает учёных... Большинство исследователей придерживаются такой гипотезы.

В процессе репликации ДНК-полимераза проводит проверку ДНК на мутации. У (урацил) может образовываться в результате мутации С (цитозина). При этом ДНК-полимераза «встаёт в тупик». Она не знает, то ли она имеет дело с мутировавшим цитозином (и тогда это нужно исправить), то ли это должен быть урацил как таковой. Таким образом возможно «исправление» мутации, которой в реальности не было.



Поэтому в ДНК в конечном счёте появился Т (тимин), поскольку его легче распознать!

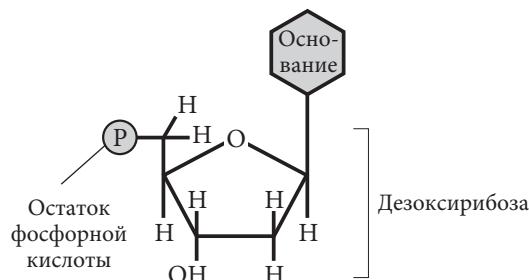


Да. Но, повторюсь, это всего лишь гипотеза. В мире молекулярной биологии много такого, что ещё предстоит тщательно исследовать.

❖ ДНК И РНК СОДЕРЖАТ РАЗНЫЕ САХАРА

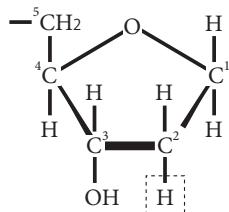


В главе 2 речь шла о том, что нуклеотид (дезоксирибонуклеотид), из которого состоит ДНК, состоит из остатка фосфорной кислоты, дезоксирибозы (вида сахара) и основания.

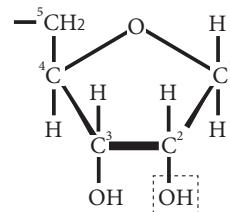




В составе РНК также находится особый нуклеотид – *рибонуклеотид*. Он тоже состоит из остатка фосфорной кислоты, сахара и основания. Только в данном случае сахар называется *рибозой*.



Дезоксирибоза
(строительный материал ДНК)



Рибоза
(строительный материал РНК)



Итак, разница между ДНК и РНК заключается не только в том, что в одном случае используется Т (тимин), а в другом У (урацил), но и в том, что в состав ДНК входит *дезоксирибоза*, а в состав РНК – *рибоза*.



А чем отличаются эти сахара?



Только одним. В молекуле дезоксирибозы ко второму атому углерода присоединяется атом водорода (Н), а в молекуле рибозы – *гидроксильная группа* (ОН). Но это единственное отличие заметно сказывается на свойствах этих сахаров...



Каковы же их свойства?

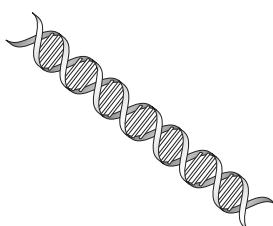


Реакционная способность РНК по сравнению с ДНК гораздо выше. Причина в том, что атом кислорода (О) в составе гидроксильной группы активнее вступает в реакцию с другими атомами.

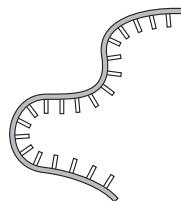
❖ РНК ОБЛАДАЕТ ГИБКОСТЬЮ



Мы уже выделили два отличия в структуре ДНК и РНК. У них различается одно из оснований – в одном случае тимин, в другом урацил, – а также сахар в составе нуклеотида (дезоксирибоза и рибоза соответственно). Но есть и еще один существенный момент: если ДНК существует в форме двойной спирали, то РНК представляет собой одну нить.



Двойная спираль ДНК



Одинарная нить РНК



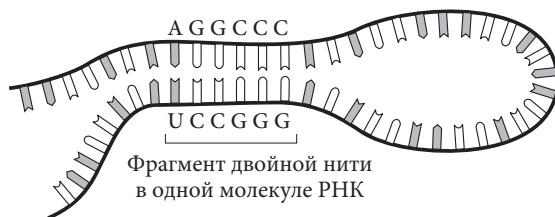
Почему? По-моему, двойная спираль как-то... прочнее.



В случае с ДНК – несомненно. Но для РНК более удобна форма одинарной нити. Она обеспечивает такое немаловажное свойство, как гибкость. В результате одна-единственная молекула РНК может приобретать разные формы.

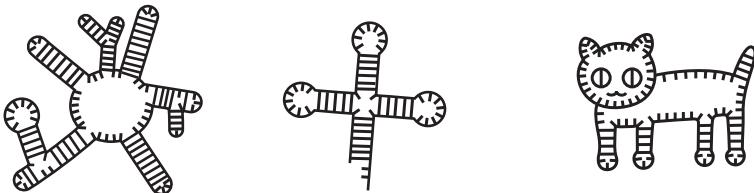
Представим, например, что в пределах одной молекулы РНК встречаются последовательности оснований AGGCC и GGGCU.

Поскольку А формирует связь с U, а G – связь с C, эти последовательности могут образовать двойную нить в пределах молекулы. Это будет выглядеть так:





РНК совсем не обязательно вытягивается в струну: благодаря разнообразию в последовательности оснований ее нить может принимать самые разные формы. Вследствие этого она может брать на себя дополнительные функции помимо дублирования информации, заложенной в ДНК. Это крайне важно.



❖ МНОГОЧИСЛЕННЫЕ ВИДЫ РНК



Ну, например, какие же это функции?



Информационная (матричная) РНК, или *мРНК*, – отнюдь не единственный вид РНК. Также существуют транспортная РНК (*тРНК*) и рибосомная РНК (*рРНК*). Оба вида РНК играют важную роль при создании белка на основании информации, зашифрованной в матричной РНК.

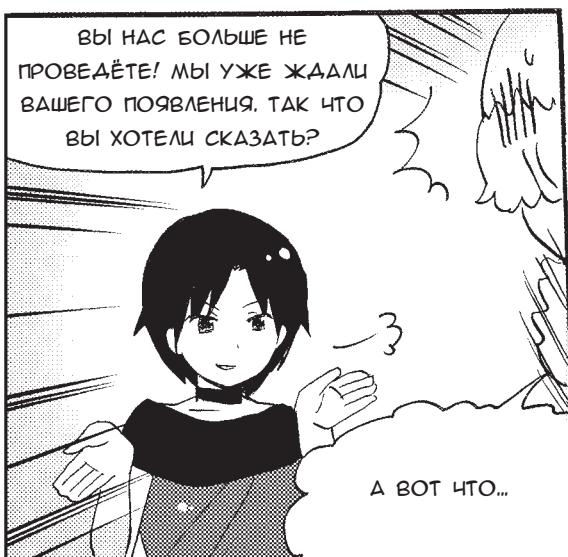


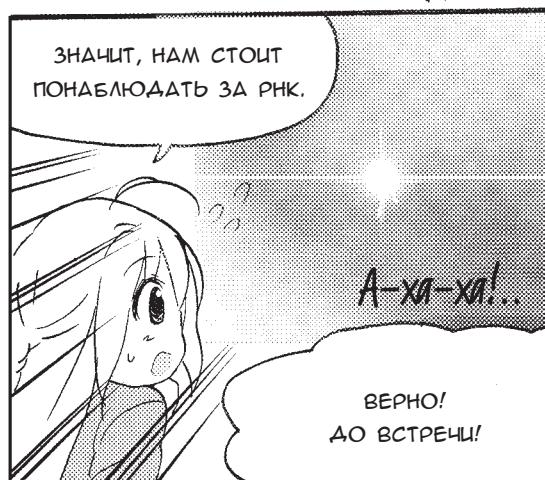
Все это так загадочно... С понятием «ДНК» я раньше сталкивалась. А про РНК ничего никогда не слышала. А теперь получается, что РНК берёт на себя гораздо больше забот, чем ДНК!



Ну да... ведь она более гибкая!

НУ НАКОНЕЦ-ТО ВЫ ЭТО УСВОИЛИ!





Ч ТРАНСПОРТНАЯ РНК

❖ РИБОСОМА: МЕХАНИЗМ СИНТЕЗА БЕЛКА

А ТЕПЕРЬ РАССМОТРИМ ПОСЛЕДНИЙ ЭТАП ОБРАЗОВАНИЯ БЕЛКОВ – ТРАНСЛЯЦИЮ.

ДНК
↓ Репликация
РНК
↓ Транскрипция
Белок
↓ Трансляция

БАМ!

ЧТО ЭТО?!

МЫ ВНУТРИ КЛЕТКИ. ПОСЛЕ ТОГО КАК ИНТРОНЫ УДАЛЯЮТСЯ ИЗ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ ОСНОВАНИЙ мРНК ВЫХОДИТ ИЗ ЯДРА...

Рибосомы

мРНК
...И НАЧИНАЕТ ДВИГАТЬСЯ ПО НАПРАВЛЕНИЮ К МНОГОЧИСЛЕННЫМ РИБОСОМАМ*, НАХОДЯЩИМСЯ ПО ТУ СТОРОНУ ЯДЕРНОЙ ОБОЛОЧКИ.

* МОГУТ БЫТЬ СВЯЗАНЫ С ЭНДОПЛАЗМАТИЧЕСКИМ РЕТИКУЛУМОМ.

РИБОСОМА – ЭТО СКОПЛЕНИЕ рРНК И РИБОСОМАЛЬНЫХ БЕЛКОВ.

Большая субъединица

+

Малая субъединица

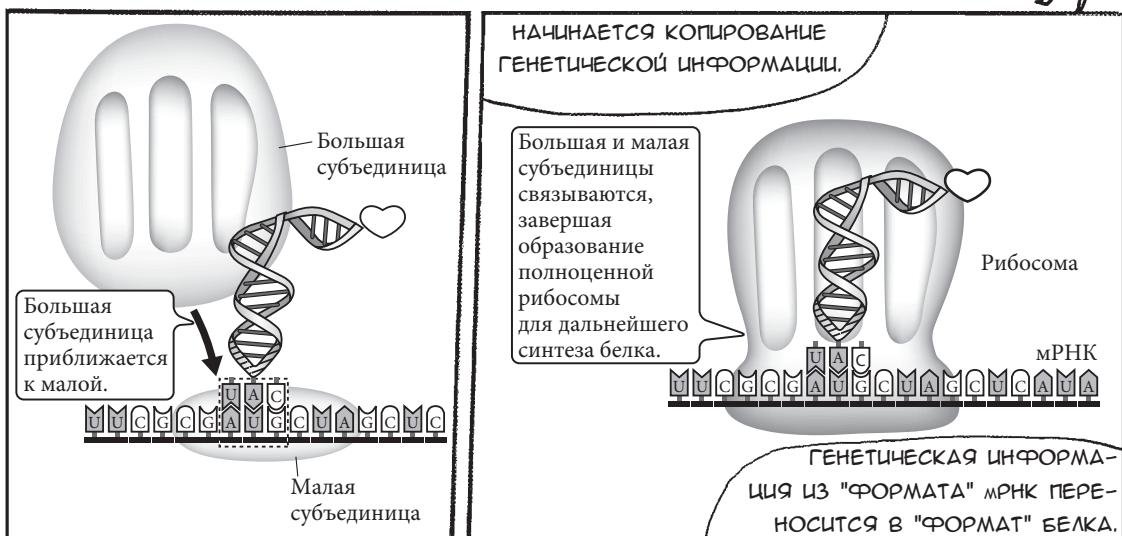
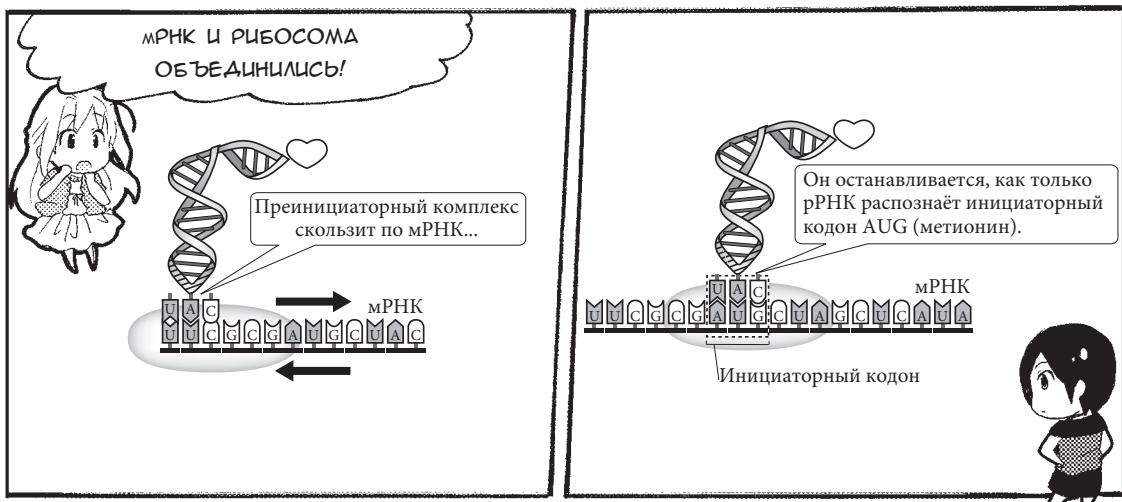
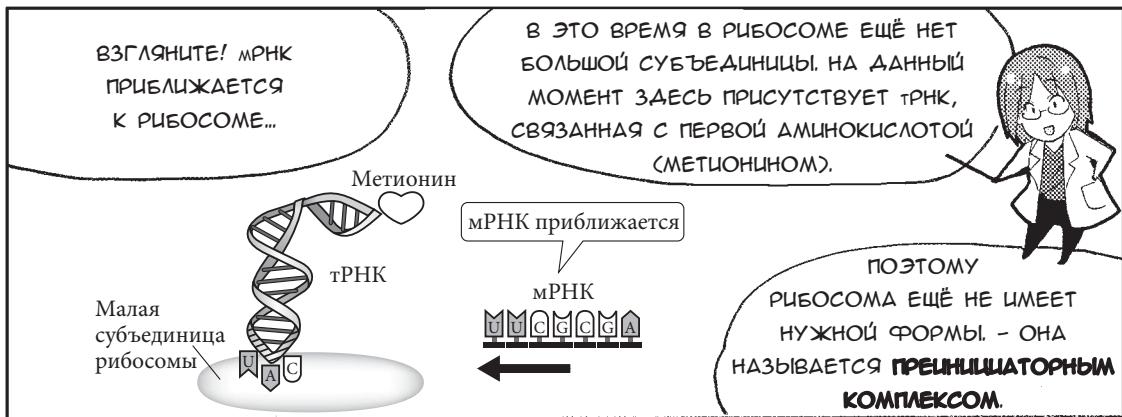
Сделаем ось вертикальной
Ось

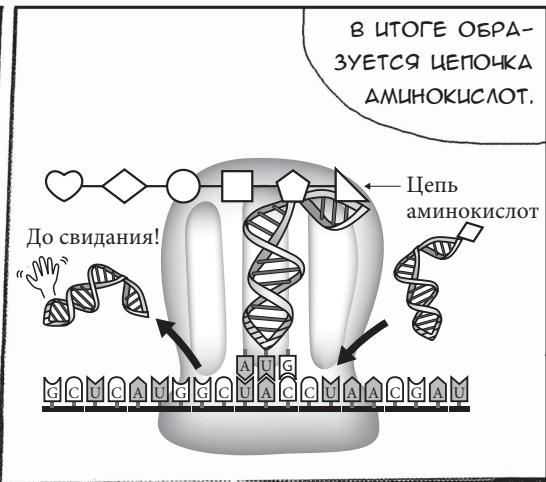
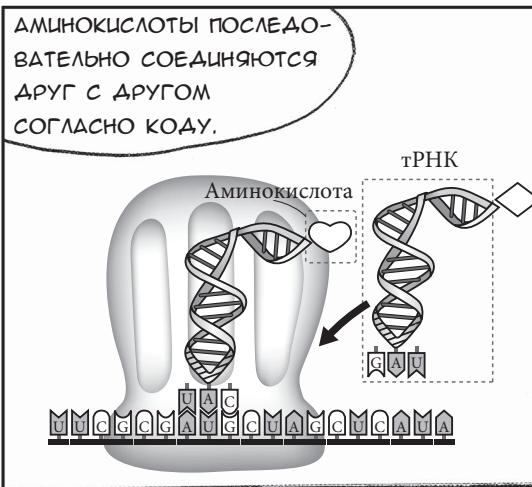
Поднимем горизонтальную ось вертикально



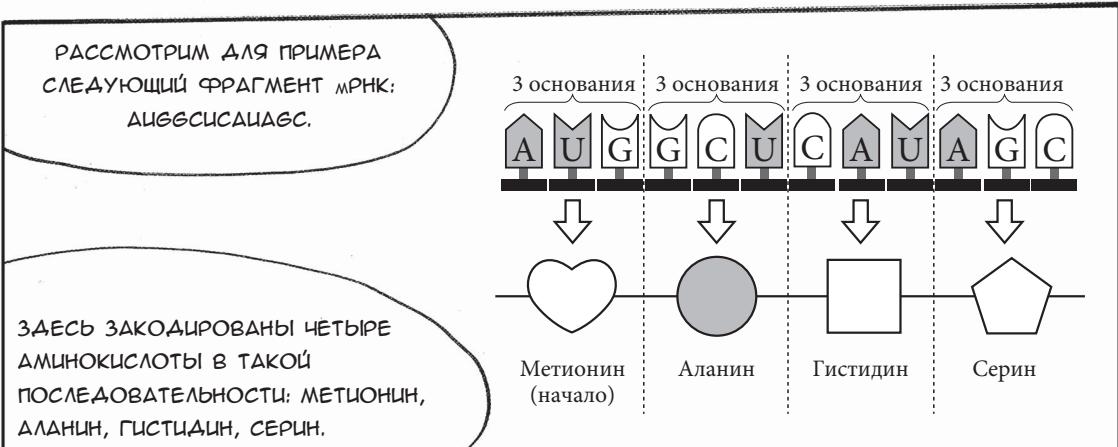
ОБЪЕДИНЕНИЕ

БОЛЬШОЙ И МАЛЫЙ СУБЪЕДИНИЦЫ СОЗДАЮТ ИДЕАЛЬНЫЕ УСЛОВИЯ ДЛЯ ТРАНСЛЯЦИИ БЕЛКА. НО КАК ПРОИСХОДИТ ЭТО ОБЪЕДИНЕНИЕ?

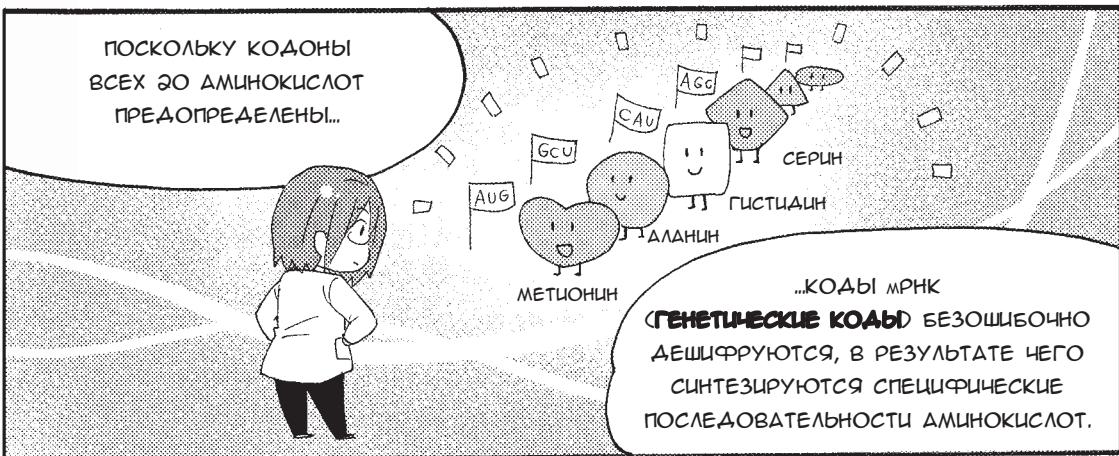
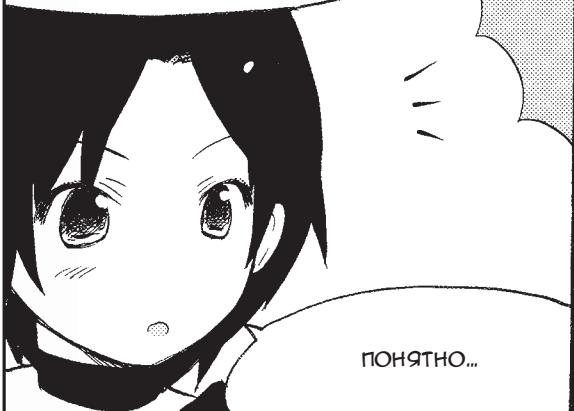




❖ ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ ГЕНЕТИЧЕСКОГО КОДА



ДЕЛО В ТОМ, ЧТО СОЧЕТАНИЯ ОСНОВАНИЙ AUG, GCU, CAU, AGC СООТВЕТСТВУЮТ МЕТИОНИНУ, АЛАНИНУ, ГИСТИДИНУ И СЕРИНУ СООТВЕТСТВЕННО.



		2-е основание					
1-е основание		U	C	A	G	3-е основание	
U	(UUU) фенилаланин	(UCU) серин	(UAU) тирозин	(UGU) цистеин		U	
	(UUC) фенилаланин	(UCC) серин	(UAC) тирозин	(UGC) цистеин		C	
	(UUA) лейцин	(UCA) серин	(UAA) стоп-кодон	(UGA) стоп-кодон		A	
	(UUG) лейцин	(UCG) серин	(UAG) стоп-кодон	(UGG) триптофан		G	
C	(CUU) лейцин	(CCU) пролин	(CAU) гистидин	(CGU) аргинин		U	
	(CUC) лейцин	(CCC) пролин	(CAC) гистидин	(CGC) аргинин		C	
	(CUA) лейцин	(CCA) пролин	(CAA) глутамин	(CGA) аргинин		A	
	(CUG) лейцин	(CCG) пролин	(CAG) глутамин	(CGG) аргинин		G	
A	(AUU) изолейцин	(ACU) треонин	(AAU) аспарагин	(AGU) серин		U	
	(AUC) изолейцин	(ACC) треонин	(AAC) аспарагин	(AGC) серин		C	
	(AUA) изолейцин	(ACA) треонин	(AAA) лизин	(AGA) аргинин		A	
	(AUG) метионин (иниц.)	(ACG) треонин	(AAG) лизин	(AGG) аргинин		G	
G	(GUU) валин	(GCU) аланин	(GAU) аспарагин. кислота	(GGU) глицин		U	
	(GUC) валин	(GCC) аланин	(GAC) аспарагин. кислота	(GGC) глицин		C	
	(GUA) валин	(GCA) аланин	(GAA) глутамин. кислота	(GGA) глицин		A	
	(GUG) валин	(GCG) аланин	(GAG) глутамин. кислота	(GGG) глицин		G	

ХМ!.. ФЕНИЛАЛАНИНУ
СООТВЕТСТВУЮТ ДВЕ
ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ
ОСНОВАНИЙ: ИИИ И ИИС.

А ЛЕЙЦИНУ И АРГИНИНУ -
ЦЕЛЫХ ШЕСТЬ!

ВЫ ОЧЕНЬ НАБЛЮДАТЕЛЬНЫ!
ДЕЙСТВИТЕЛЬНО, ПОЧТИ КАЖДОЙ
АМИНОКИСЛОТЕ СООТВЕТСТВУЕТ
НЕСКОЛЬКО КОДОНОВ.

❖ тРНК ПЕРЕНОСИТ АМИНОКИСЛОТЫ

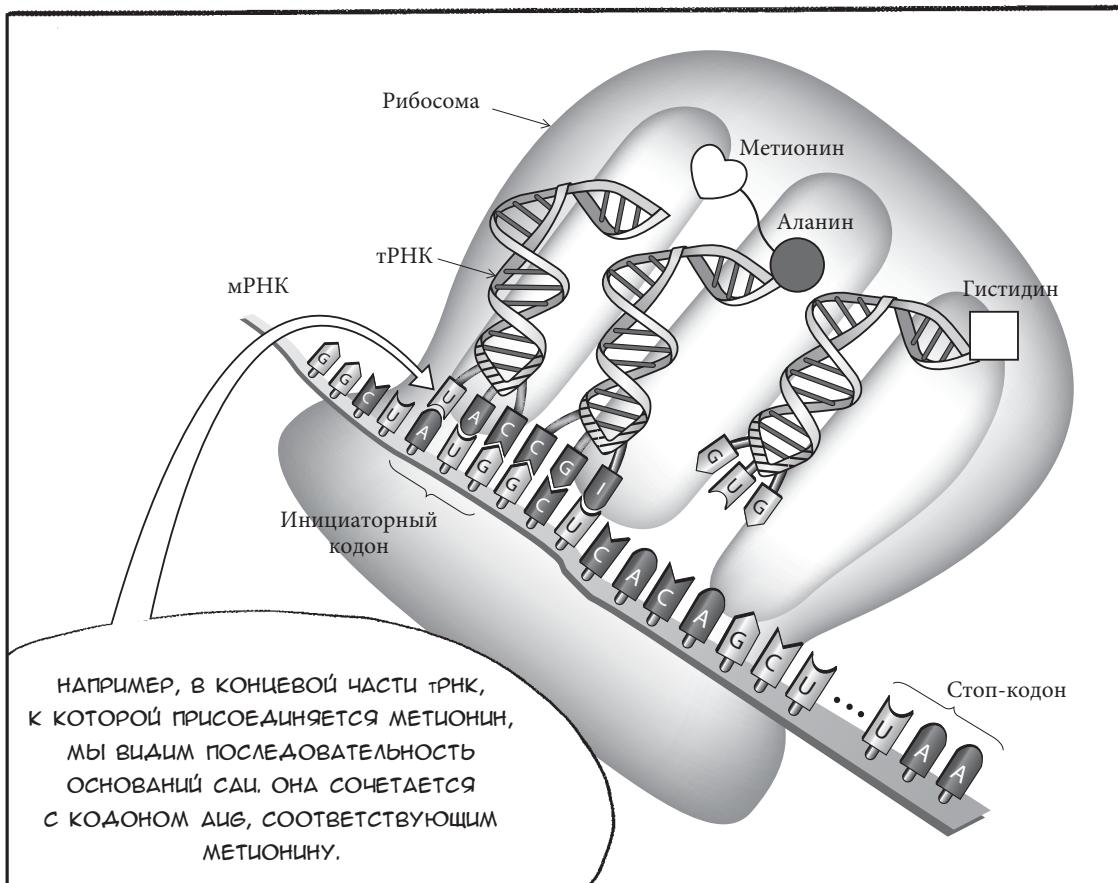
ЭО ТИПОВ АМИНОКИСЛОТ, СВЯЗАННЫЕ С тРНК, ПЕРЕНОСЯТСЯ К РИБОСОМЕ.

Вот так...

Ах!

КАК ЯВСТВУЕТ ИЗ ЕЁ НАЗВАНИЯ, ТРАНСПОРТНАЯ РНК – тРНК – ОТВЕЧАЕТ ЗА ПЕРЕНОС АМИНОКИСЛОТ.

ПРИ ЭТОМ КАЖДОМУ ТИПУ АМИНОКИСЛОТЫ СООТВЕТСТВУЕТ СВОЙ ТИП тРНК.



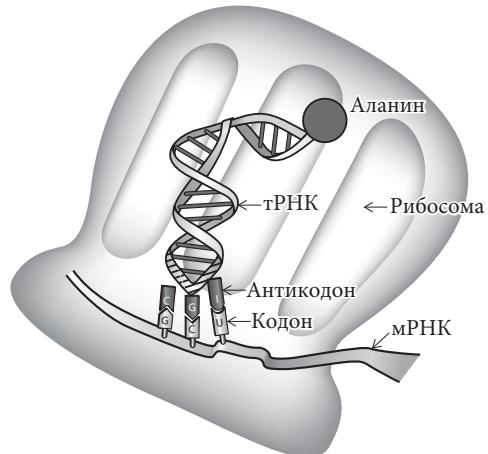


Три основания тРНК, которые сочетаются с кодоном, называются **антикодоном**.

Другой пример: тРНК, которая переносит аланин, имеет в своей концевой части антикодон IGC, сочетающийся с кодоном GCU (который соответствует аланину). Иногда первое основание антикодона обозначается необычным символом – I (инозин).



Это какое-то другое основание?



Да, **инозин** – особое основание, которое может сочетаться с двумя-тремя другими. Дело в том, что способность 3-го основания кодона образовывать пару с 1-м основанием антикодона весьма слабая. В результате это основание может сочетаться и с другими. В таком случае говорят о **неоднозначных парах оснований**.

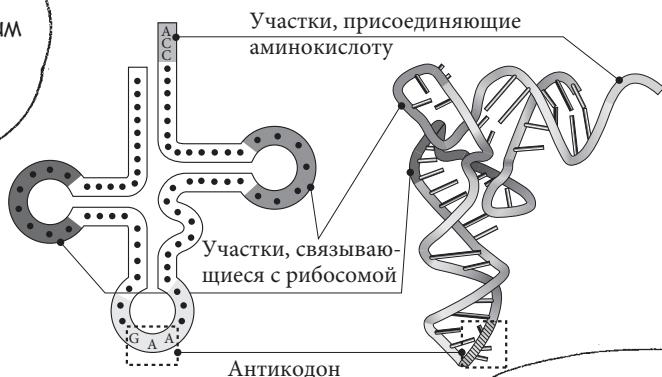


Ну прямо как джокер в колоде карт!..



Да. Прямо скажем – тёмная лошадка!..

А ТЕПЕРЬ РАССМОТРИМ СТРУКТУРУ ТРНК ПОДРОБНЕЕ.



НА РИСУНКЕ СЛЕВА СХЕМАТИЧНО ПРЕДСТАВЛЕНА ТРНК С ВНУТРЕННИМИ ПЕТЛЯМИ В МОЛЕКУЛЕ.

НА РИСУНКЕ СПРАВА ПОКАЗАНА ЕЁ РЕАЛЬНАЯ ТРЕХМЕРНАЯ ФОРМА.

ФОРМА, ПРЯМО СКАЖЕМ, НЕПРОСТАЯ.

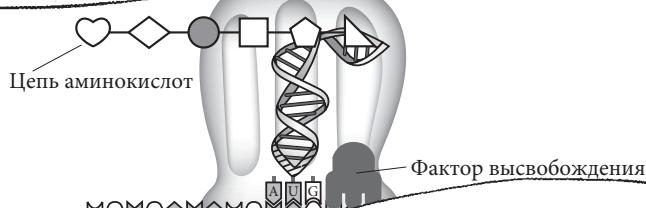
ДА УЖ...

ОНА ОТРАЖАЕТ КЛЮЧЕВОЕ СВОЙСТВО РНК - ГИБКОСТЬ!

Гм... ВЕРНО.

НУ ХОРОШО.

ДАВАЙТЕ ВЕРНЁМСЯ К ТОМУ МОМЕНТУ, КОГДА ЗАВЕРШИЛОСЬ ПОСТРОЕНИЕ ДЛИННОЙ ЦЕПИ АМИНОКИСЛОТ.



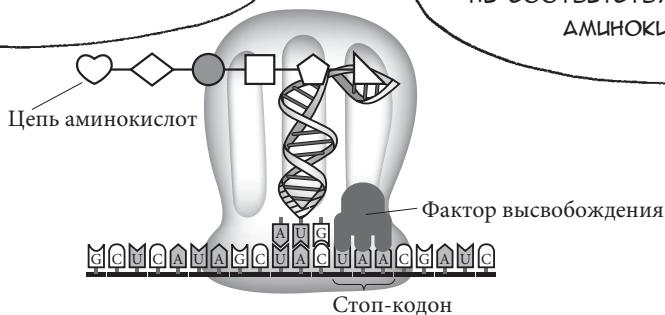
АМИНОКИСЛОТЫ СОЕДИНЯЮТСЯ ДРУГ С ДРУГОМ БЛАГОДАРЯ ОСОБЫМ ПРОЦЕССАМ И СВОЙСТВАМ РНК, СОДЕРЖАЩЕЙСЯ В РИБОСОМЕ.

ТЕПЕРЬ ЦЕПЬ АМИНОКИСЛОТ ПОСТРОЕНА ПОЛНОСТЬЮ. ЗНАЧИТ, БЕЛОК СОЗДАН?

ПОКА НЕТ. ДЛЯ ЭТОГО ПОНДОБИТСЯ ЕЩЁ ОДИН ЭТАП.

НА КОНЕЦ МРНК СОЗДАЁТСЯ СООБЩЕНИЕ: СИНТЕЗ БЕЛКА ЗАВЕРШЁН.

ЭТО СООБЩЕНИЕ ВЫРАЖЕНО В ВИДЕ **СТОП-КОДОНА**, ПРЕДСТАВЛЕННОГО СОЧЕТАНИЕМ ЦАА, ЦАГ ИЛИ ЦАГ. ОНИ НЕ СООТВЕТСТВУЮТ НИ ОДНОЙ АМИНОКИСЛОТЕ.

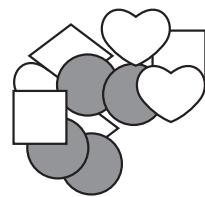
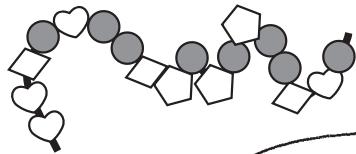


ЧТО ПРОИСХОДИТ, КОГДА СТОП-КОДОН СОЕДИНЯЕТСЯ С РИБОСОМОЙ?

ФАКТОР ВЫСВОЕБОЖДЕНИЯ (НАБОР РИБОСОМНЫХ РИЛИЗИНГ-ФАКТОРОВ) СВЯЗЫВАЕТСЯ СО СТОП-КОДОНОМ. НА ЭТОМ СИНТЕЗ БЕЛКА ЗАВЕРШАЕТСЯ.

ДЛИННАЯ ЦЕПЬ АМИНОКИСЛОТ ОТРЕЗАЕТСЯ ОТ РИБОСОМЫ.

❖ БЕЛОК СИНТЕЗИРОВАН



ОТСОЕДИНИВШИСЬ ОТ РИБОСОМЫ,
ЦЕПЬ АМИНОКИСЛОТ СВЁРТЫВАЕТСЯ
И ПРИОБРЕТАЕТ УНИКАЛЬНУЮ ФОРМУ.

ПОСКОЛЬКУ ЭТА ФОРМА
ЗАВИСИТ ОТ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬ-
НОСТИ АМИНОКИСЛОТ, БЕЛОК
ОБРАЗУЕТСЯ ПОЧТИ АВТО-
МАТИЧЕСКИ.

О СЧАСТЬЕ!

НАКОНЕЦ-
ТО!

МЫ ТАК ЖДАЛИ,
КОГДА ВСЁ ЭТО
КОНЧИТСЯ!



СИНТЕЗИРОВАННЫЕ БЕЛКИ
РАСПРОСТРАНЯЮТСЯ
ПО КЛЕТКЕ И ЗА ЕЁ
ПРЕДЕЛАМИ.

Круто!



БЕЛКИ,
КОТОРЫМ ПРЕДСТОИТ ВЫЙТИ
ЗА ПРЕДЕЛЫ КЛЕТКИ, ДОПОЛНЯ-
ЮТСЯ, СВЯЗЫВАЯСЬ С САХАРОМ,
НАПРИМЕР В КЛЕТОЧНЫХ ОРГАНЕЛ-
ЛАХ, ТАКИХ КАК ЭНДОПЛАЗМАТИЧЕС-
КИЙ РЕТИКУЛУМ И АППАРАТ ГОЛЬДЖИ,
ЗАТЕМ ОТПРАВЛЯЮТСЯ ИЗ КЛЕТКИ.

БЕЛКИ ВНУТРИ КЛЕТКИ ПРИНИМАЮТ
ХАРАКТЕРНУЮ ДЛЯ НИХ ФОРМУ.
ОДНИ СРАЗУ НАЧИНАЮТ ВЫПОЛНЯТЬ
СВОИ ФУНКЦИИ, ДРУГИЕ СНАЧАЛА
ДОСТАВЛЯЮТСЯ В НУЖНОЕ
МЕСТО.

Э-ЭЙ...



ПОДОЖДАЙТЕ, ЭТО
ЕЩЁ НЕ ВСЁ!

* ТОЧНЕЕ ГОВОРЯ, БЕЛОК СВЁРТЫВАЕТСЯ НЕ АВТОМАТИЧЕСКИ.
ФОЛДИНГ (СВЁРТЫВАНИЕ) ПРОИСХОДИТ С УЧАСТИЕМ ДРУГИХ БЕЛКОВ.

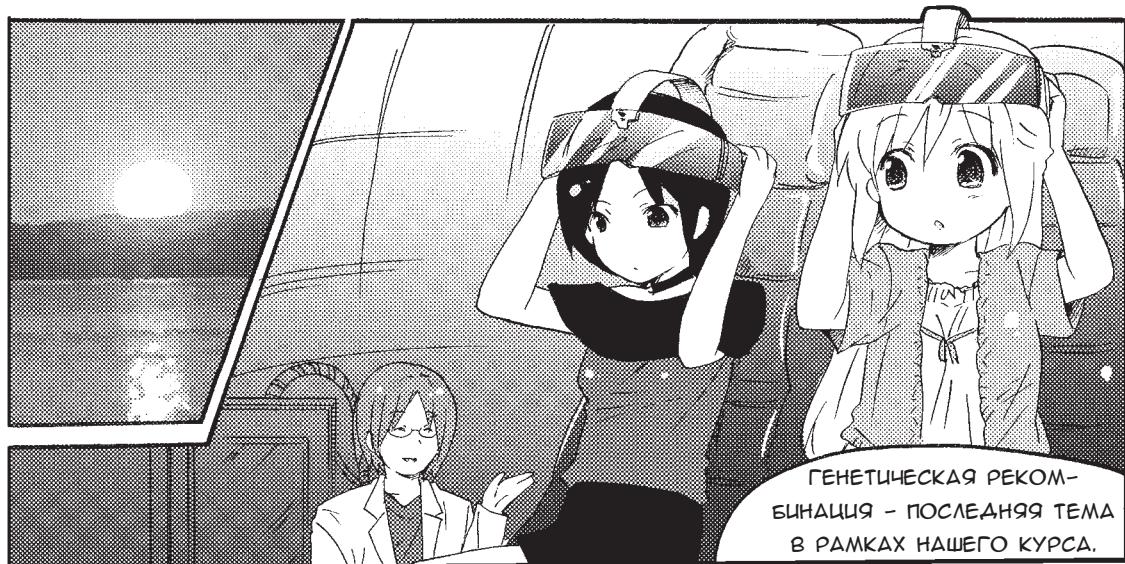
5

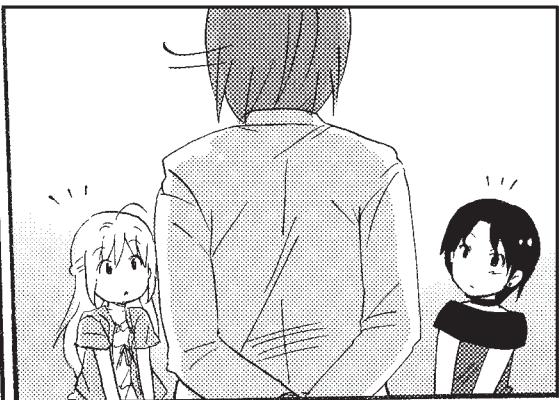
ГЕНЕТИЧЕСКИЕ
ТЕХНОЛОГИИ
и ИССЛЕДОВАНИЯ

500

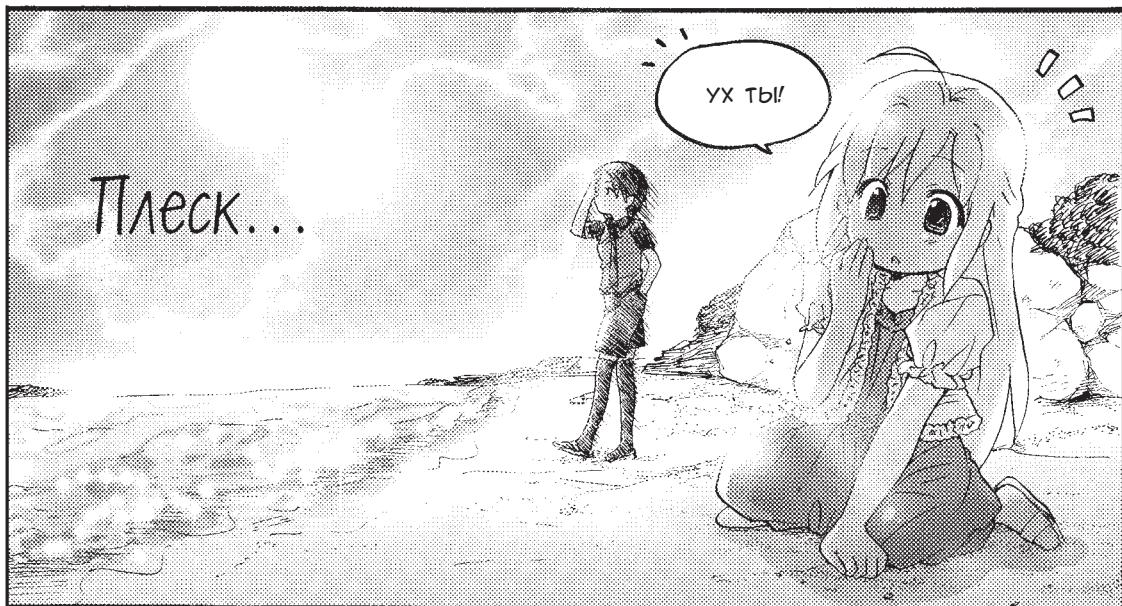
1

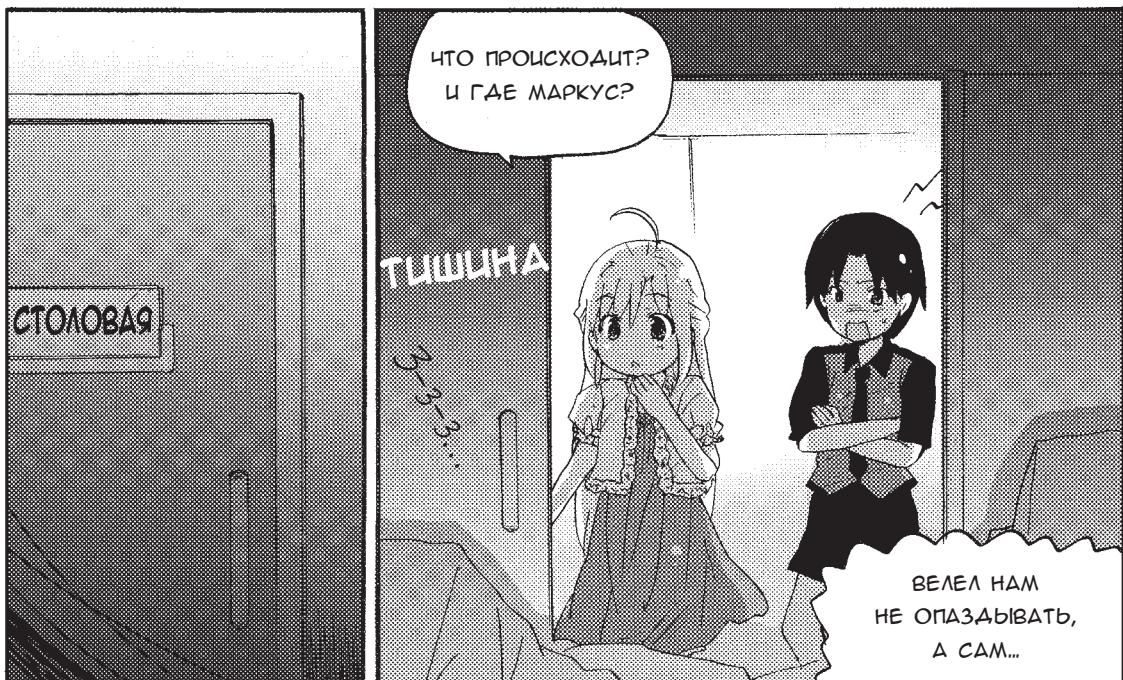
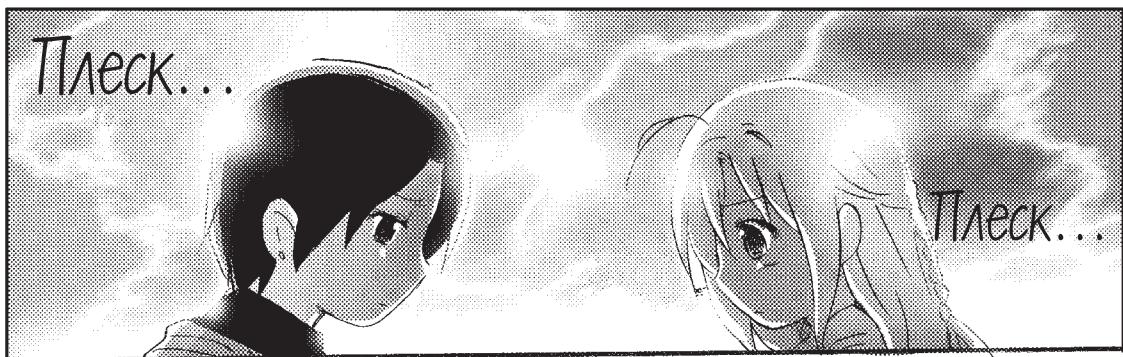
ТЕХНОЛОГИЯ ГЕНЕТИЧЕСКОЙ РЕКОМБИНАЦИИ

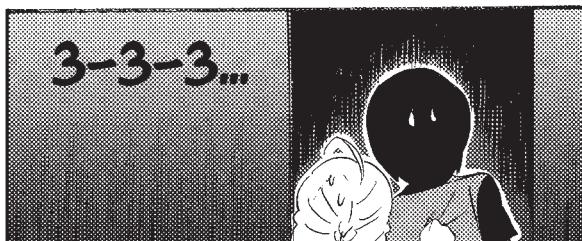
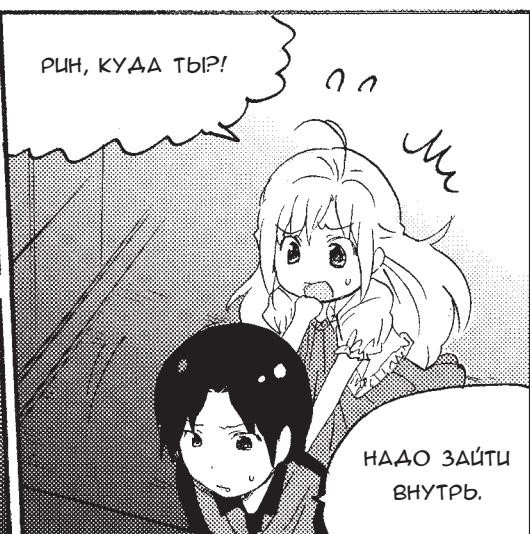


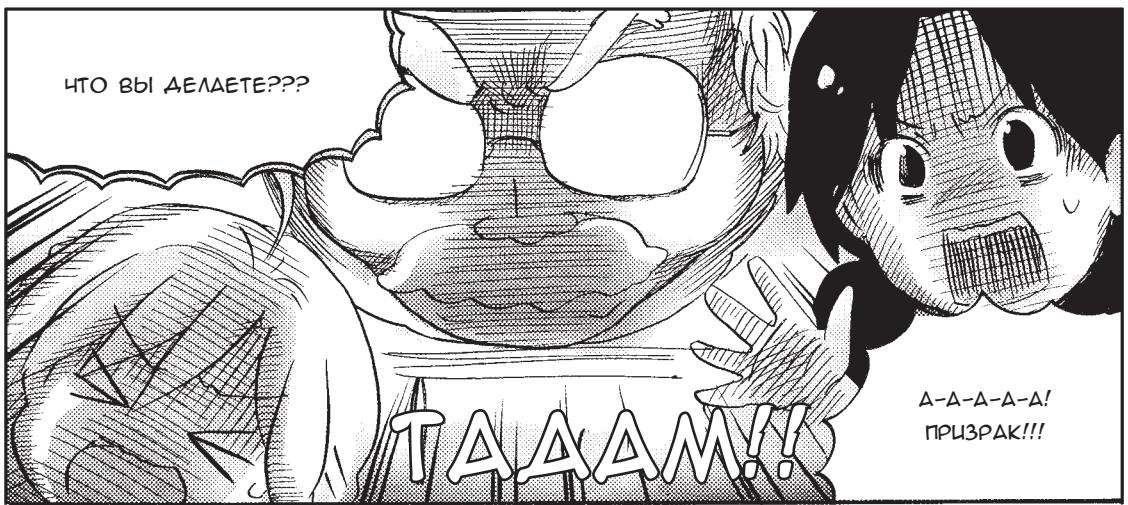


ПОСЛЕДНИЙ ДЕНЬ ЗАНЯТИЙ...



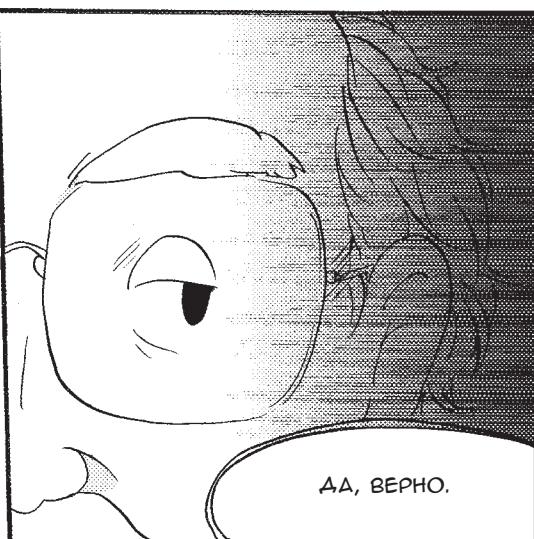






❖ ИЗМЕНЕНИЕ ДНК



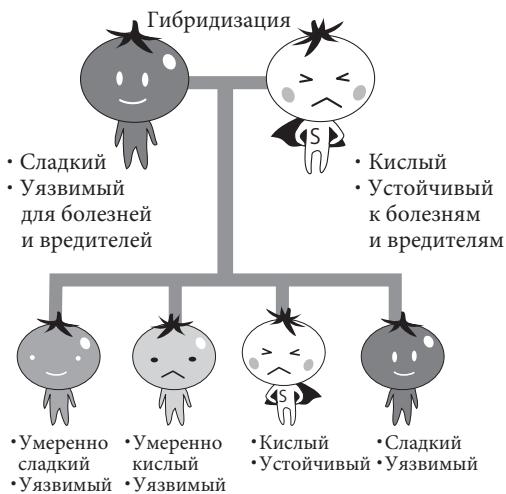




❖ СЕЛЕКЦИЯ И ТЕХНОЛОГИЯ ГЕНЕТИЧЕСКОЙ РЕКОМБИНАЦИИ



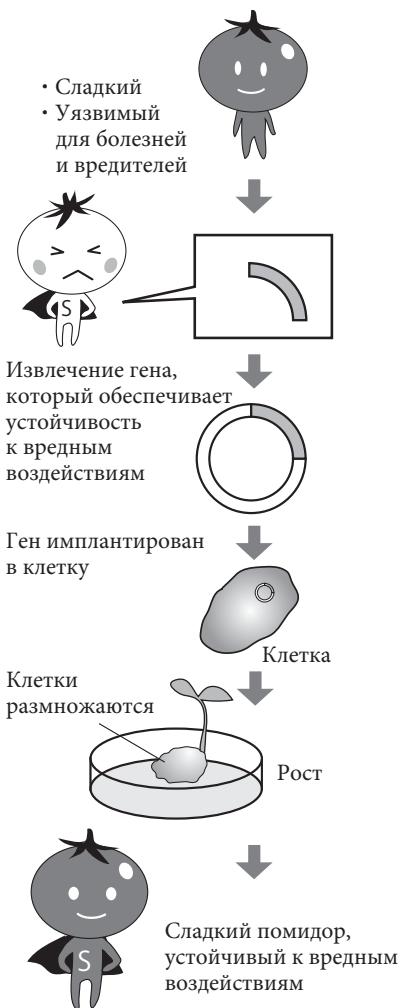
Создание гибридов



Сладкий помидор, устойчивый к вредным воздействиям

КАК ВИДЕТЕ, ТЕХНОЛОГИЯ РЕКОМБИНАЦИИ ГЕНОВ ПОЗВОЛЯЕТ СЭКОНОМТЬ МАССУ ВРЕМЕНИ, ТРЕБУЕМОГО ДЛЯ МНОГОКРАТНОЙ ПЕРЕКРЁСТНОЙ СЕЛЕКЦИИ...

Рекомбинация генов



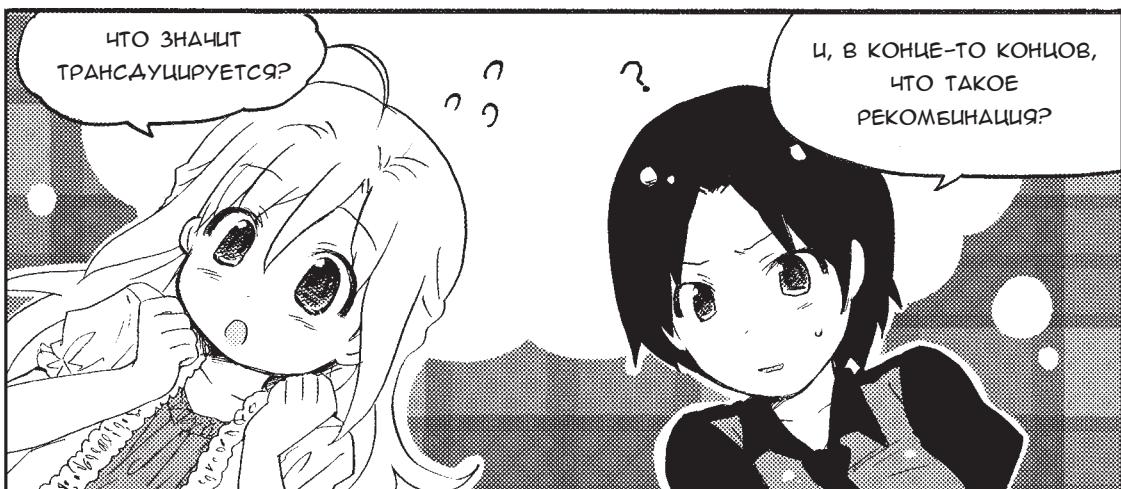
А ТЕПЕРЬ РАССМОТРИМ БЕЛОК ИНСУЛИН. ОН ИСПОЛЬЗУЕТСЯ КАК ЛЕКАРСТВО ОТ ДИАБЕТА, ПОСКОЛЬКУ ОБЛАДАЕТ СВОЙСТВОМ СНИЖАТЬ УРОВЕНЬ САХАРА В КРОВИ.

Раньше этот белок извлекали из внутренних органов животных. В таких условиях массовое производство инсулина было невозможным.



ЧТО ЗНАЧИТ ТРАНСДУЦИРУЕТСЯ?

И, В КОНЦЕ-ТО КОНЦОВ, ЧТО ТАКОЕ РЕКОМБИНАЦИЯ?



ИТАК, ПЕРЕХОДИМ
К РЕКОМБИНАНТНОЙ
ТЕХНОЛОГИИ...

Я ОБЪЯСНЮ ЭТЫЙ МАТЕРИАЛ
НА ПРИМЕРЕ ПРОИЗВОДСТВА
БОЛЬШИХ ОБЪЁМОВ БЕЛКА
МЕТОДОМ ТРАНСДУКЦИИ
ГЕНА А В БАКТЕРИИ E. COLI.



ЗДЕСЬ ПРЕДСТАВЛЕНА ОБЩАЯ
СХЕМА РЕКОМБИНАЦИИ.

ЭТАП 1. АМПЛИФИКАЦИЯ ГЕНА-МИШЕНИ

УСТАНАВЛИВАЕТСЯ ГЕН, КОТОРЫЙ ТРЕБУЕТСЯ
ВОСПРОИЗВЕСТИ. ПРОИЗВОДИТСЯ ЕГО АМПЛИФИКАЦИЯ.

**ЭТАП 2. РЕКОМБИНАЦИЯ ГЕНОВ –
ВЫРЕЗАНИЕ И ВСТАВКА**

АМПЛИФИЦИРОВАННЫЕ ГЕНЫ ИЗВЛЕКАЮТСЯ
И ВСТАВЛЯЮТСЯ В НОВУЮ ДНК.

ЭТАП 3. ТРАНСДУКЦИЯ И КЛОНИРОВАНИЕ

РЕКОМБИНИРОВАННАЯ ДНК ВЫДЕЛЯЕТСЯ И КЛОНИРУЕТСЯ.



ВЫ ДОЛЖНЫ ПОНИМАТЬ,
ЧТО ЭТО ЛИШЬ КРАТКОЕ,
УПРОЩЁННОЕ
ПРЕДСТАВЛЕНИЕ.

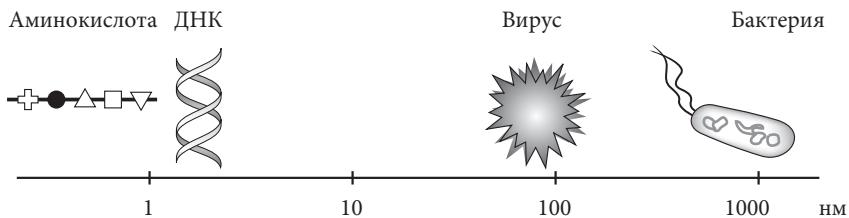
Так-так...

НА САМОМ ДЕЛЕ
РЕКОМБИНАЦИЯ –
БОЛЕЕ СЛОЖНЫЙ
МНОГОСТУПЕНЧАТЫЙ ПРОЦЕСС.

❖ ТЕХНОЛОГИЯ РЕКОМБИНАЦИИ ГЕНОВ: ПРИМЕР

ЭТАП 1: АМПЛИФИКАЦИЯ ГЕНА-МИШЕНИ

Размер молекулы, формирующей двойную спираль ДНК, – всего два нанометра (нм). Один нанометр – это одна миллиардная часть метра (миллионная часть миллиметра). Молекула ДНК, в которой содержатся наши гены, столь мала, что ее не увидеть невооруженным глазом.



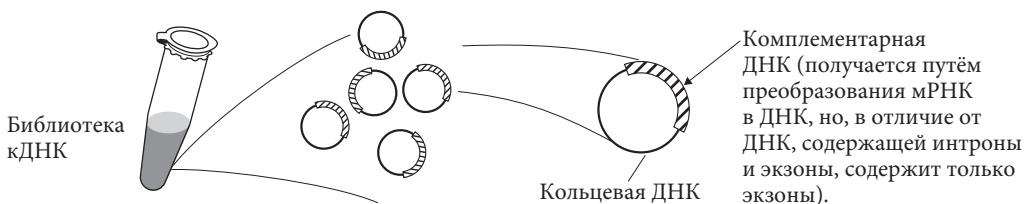
Вы, конечно, понимаете, как трудно иметь дело с микроскопическими объектами. Как же нам их разглядеть?

В самом начале этой книги мы говорили о воде. Мы не в состоянии увидеть отдельные молекулы воды, однако, когда масса молекул объединяется, мы видим воду. То же самое верно и в отношении ДНК. Раз одна молекула ДНК не видна, почему бы их не сгруппировать?

Одна из технологий, используемых с этой целью, – *полимеразная цепная реакция (ПЦР)*. ПЦР – процесс, в результате которого многократно копируется определенный ген в анализируемом образце ДНК. Использование этой технологии дает возможность сделать миллионы копий одного гена, исключить из ДНК «неугодный» ген, а также выявить присутствие того или иного гена в образце (подробная информация о ПЦР приводится на с. 209).



Сегодня исследователи могут изучать гены многих растений и животных, в том числе людей, используя специальную базу данных – *библиотеку комплементарной ДНК (кДНК)*. Гены хранятся в растворе, который содержит кДНК гена А. Полимеразная цепная реакция работает за счёт использования РНК-праймера, определённых ферментов и пула свободных нуклеотидов, которые нужны для того, чтобы многократно скопировать (амплифицировать) ген А. ПЦР протекает иначе, чем репликация ДНК в клетках, но частично использует те же компоненты.



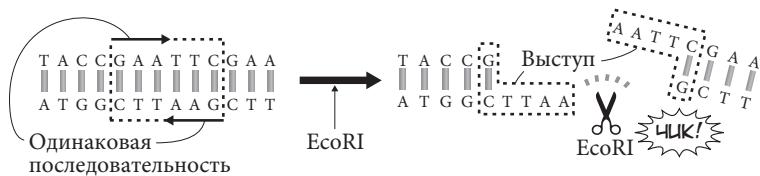
ЭТАП 2: РЕКОМБИНАЦИЯ ГЕНОВ

На данном этапе амплифицированный ген А внедряется в новую нить ДНК. Именно это составляет основу всего процесса рекомбинации.

Здесь, по сути, используется принцип «копирования и вставки», аналогичный соответствующим компьютерным операциям. Вначале ген А отделяется от ДНК при помощи специального фермента *рестрикции* (рестриктазы). Но в результате удаления гена с каждой стороны ДНК образуется небольшой выступ.

Вы спросите – зачем он нужен?

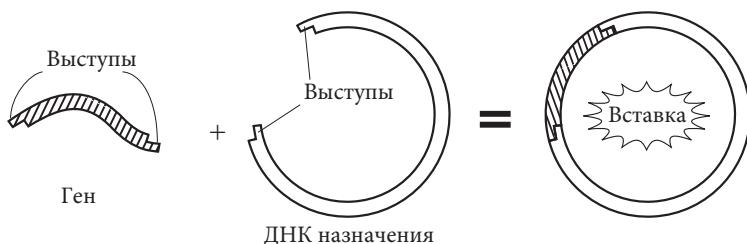
Ферменты рестрикции действуют подобно ножницам, «вырезая» из ДНК определённые пары оснований. Например, рестриктаза EcoRI вырезает только последовательность GAATTC. А теперь посмотрите на рисунок: вы увидите, что соответствующая последовательность оснований другой нити ДНК – тоже GAATTC, только развернутая в другом направлении. EcoRI отрезает фрагмент ДНК зигзагообразно, и последовательность AATT остаётся без пары, в результате чего с каждой стороны образуется выступ. Подобные выступы называются липкими концами.



В процессе ПЦР при амплификации гена A можно добавить с обоих концов гена последовательность ДНК, распознаваемую рестриктазой. По мере амплификации гена A эта новая последовательность также копируется наряду с участком ДНК (подробности вы найдёте на стр. 209).

При помощи той же рестриктазы эта технология срезает оба конца ДНК для гена A, а также ДНК в целевой клетке, оставляя такие выступы с каждой стороны. В таком случае становится возможным внедрить ген A в ДНК целевой клетки.

Затем в ходе ПЦР две разные ДНК (ген и целевая) смешиваются, и выступы соединяются при помощи фермента под названием *ДНК-лигаза*. На этом процесс вставки завершается.

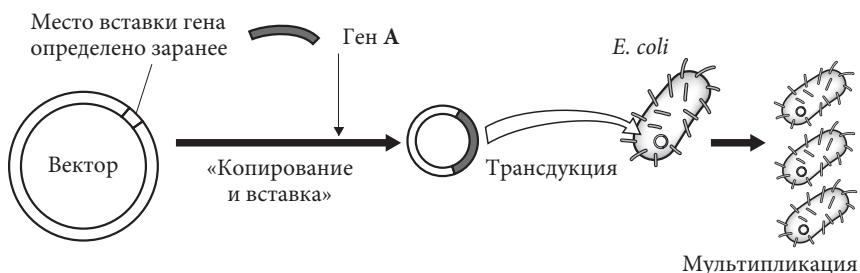


ЭТАП 3: ТРАНСДУКЦИЯ И КЛОНИРОВАНИЕ

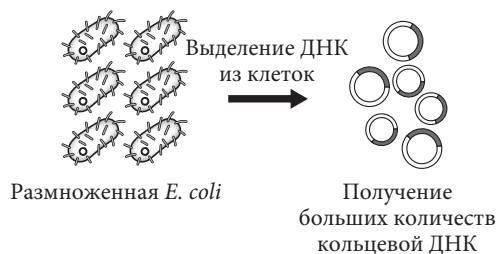
Выше был использован термин «ДНК назначения». Почему ген А необходимо переносить в другую ДНК?

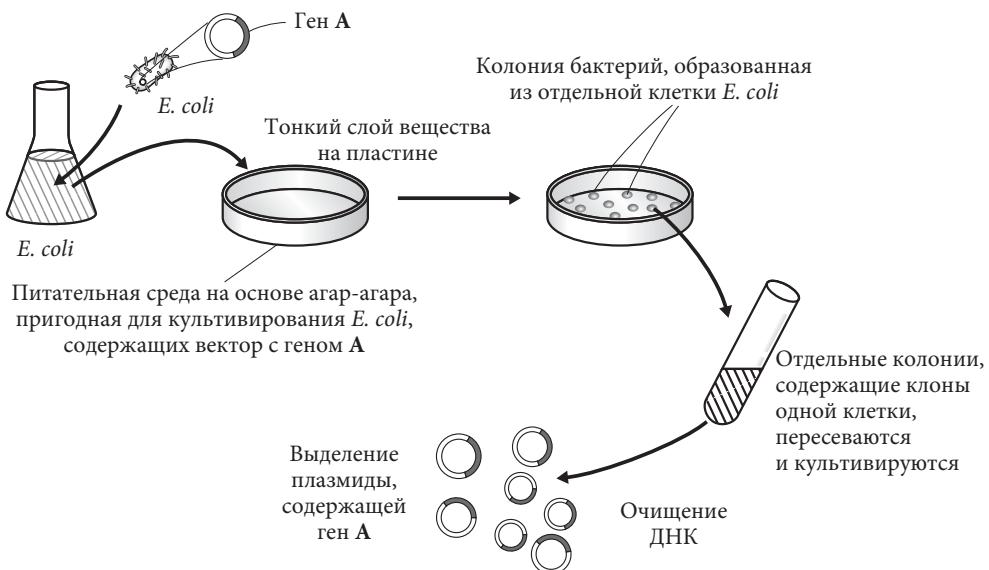
При внедрении гена в живой организм с сохранением его функции (экспрессия гена) вам необходимо вставить его в соответствующий участок ДНК, используя метод «копирования и вставки». Этот участок, специально подготовленный для размещения в нём нового гена, называется **вектором**. Он представляет **кольцевую ДНК**, в свою очередь полученную из ДНК, называемой **плазмидной** (она содержится в клетках таких бактерий, как *Escherichia coli* (*E. coli*)). Учёные модифицировали плазмидную ДНК и создали множество различных векторов для разных целей. Для получения некоторых векторов использовались даже вирусы.

Плазмиды реплицируются произвольным образом в клетках бактерий. Поэтому, используя разные методы трансдукции (включая электрошок – электропорацию), можно внедрить в бактерии наподобие *E. coli* плазмидный вектор со вставленным геном А, а затем легко размножить его в лабораторных условиях.



После многократного деления бактерии очистка ДНК позволяет получить огромное количество копий плазмиды (называемых **клонами**), содержащей ген А. Такой процесс называется **клонированием**.





Можно получить белок A в большом объёме, увеличив количество клеток *E. coli* при культивировании с целью получения белка A на основе трансдуцированного гена A. В этом случае вектор не мешает *E. coli* успешно размножаться и транскрибировать ген A в больших объёмах в специфических условиях – например, когда в питательном растворе присутствует определённый антибиотик.



В настоящее время существуют способы получения белка не только при помощи бактерий наподобие *E. coli*, но и в различных типах клеток, например в организмах насекомых и млекопитающих. Для каждого такого случая разрабатываются специальные векторы.

❖ МЕТОДЫ ОБНАРУЖЕНИЯ И ВЫДЕЛЕНИЯ ДНК

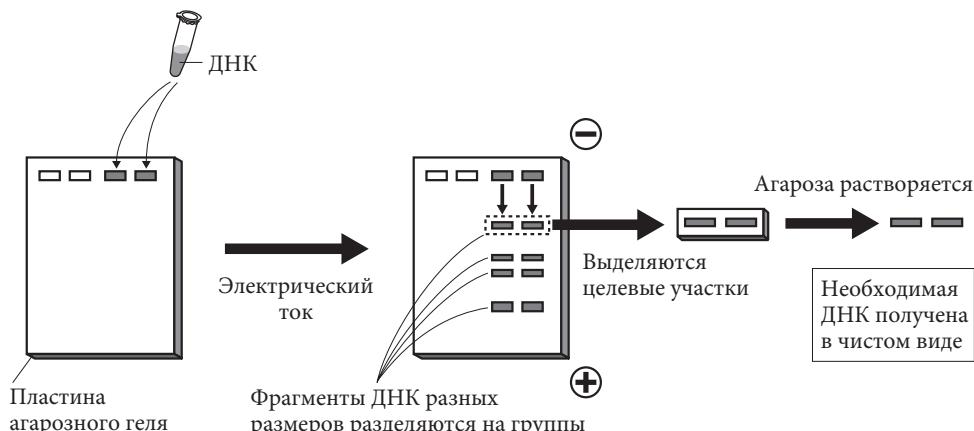
Немногим раньше мы выяснили, что хромосомы имеют свойство уплотняться – и только тогда их видно под микроскопом. Как же мы можем увидеть отдельный ген, который ещё меньше? Продукты ПЦР и любые компоненты ДНК можно выделить в ходе *гель-электрофореза*. Этот процесс позволяет выделять и очищать ДНК, используя ее химические свойства, и визуально детектировать образцы ДНК, которые выделяются и синтезируются (используя ПЦР) в лаборатории.

Раствор, содержащий ДНК, заливается в лунки на пластине, покрытой агарозным гелем. Гель состоит из полисахарида, молекулы-нити которого выступают в качестве сетки. Когда через пластину пропускается электрический ток, молекулы ДНК проходят сквозь гель в зависимости от их размера. Длинные нити ДНК задерживаются в «сетке» и движутся медленнее, чем короткие.

Почему используется электрический ток? Сахарофосфатный остов ДНК заряжен отрицательно, поэтому при подаче тока ДНК движется к положительному полюсу.

Затем для визуализации ДНК используются специальные химические вещества. Их молекулы могут встраиваться между азотистыми основаниями ДНК, а благодаря своей химической структуре эти молекулы светятся при ультрафиолетовом освещении. Добавляя такие вещества (например, бромистый этидий), мы видим ДНК под ультрафиолетовыми лучами. Таким образом фрагменты ДНК выделяются из раствора.

Если вы проводите ПЦР для определённого гена, то можете просто вырезать в агарозном геле участки, содержащие ДНК, которые соответствуют этому гену (по длине). Очищение достигается за счет растворения агарозного геля, извлечения ДНК с помощью спирта и промывания полученного образца. В этом случае возможно выделение очищенной ДНК (то есть имеющую фрагменты равной длины с одинаковой последовательностью оснований) в больших объемах. Этот биоматериал может использоваться для разных целей, в частности рекомбинации генов.



❖ ГЕННОМОДИФИЦИРОВАННЫЕ (ТРАНСГЕННЫЕ) ЖИВОТНЫЕ



Технология рекомбинации генов используется для селекции и массового производства медицинских препаратов, но этим ее применение не исчерпывается.

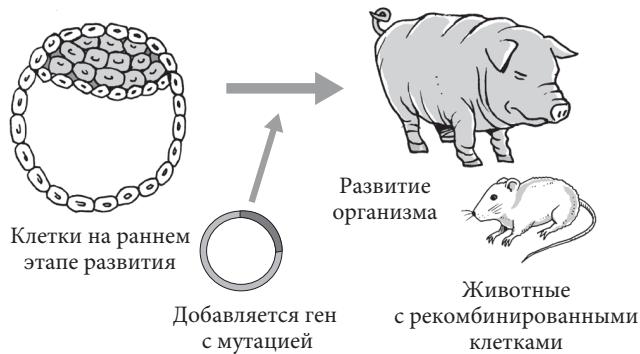
Прежде всего, она значительно способствует развитию молекулярной биологии как науки. Например, можно трансдукцировать определённый ген в культуру клеток и посмотреть, какие изменения происходят на клеточном уровне.



И можно определить свойства белка, за создание которого отвечает определённый ген?



Да! Технологии рекомбинации генов позволяют учёным определять функцию (или функции) конкретного белка. Кроме того, немного усложнив метод, вы можете узнать, что происходит с клетками при удалении гена. Таким образом работа белка проясняется во всех подробностях. Подобные эксперименты проводятся не только на клеточном уровне: они позволяют выращивать *генномодифицированных (трансгенных) животных и растения*. В их клетки добавляется отсутствовавший ген (или, напротив, имеющийся ген удаляется из генома). Подобные опыты позволяют понять, как те или иные гены влияют на рост растения/животного и на развитие некоторых болезней. Чаще всего для экспериментов берут мышей, но иногда проводят опыты на дрозофилах, кроликах, рыбках данио, дрожжах и горчице.



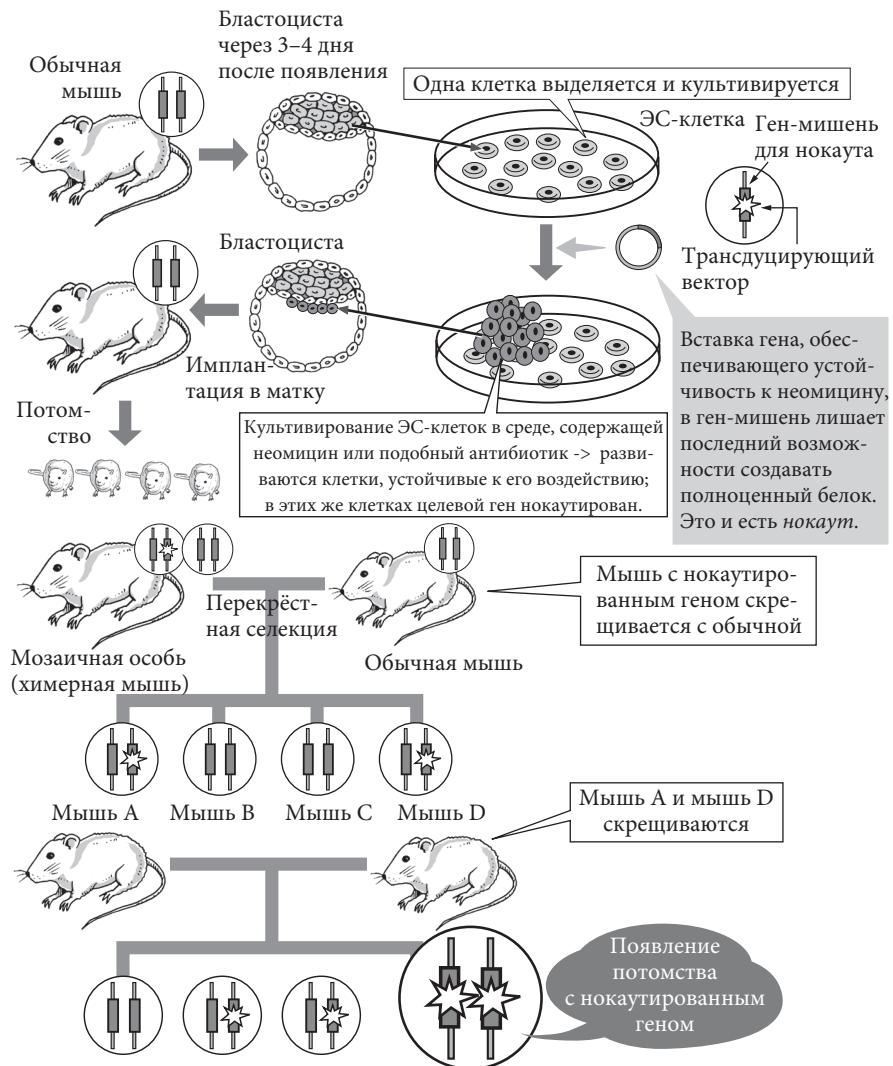
Путем трансдукции гена в клетки эмбрионов животных на очень ранней стадии развития можно получить организм, в клетках которого (хотя и не во всех) присутствует новый ген. Это животное со смешанным, или *мозаичным*, геномом. При скрещивании мозаичных мышей (в яйцеклетках и сперматозоидах которых с некоторой долей вероятности содержится новый ген, названный *трансгеном*) можно вывести животных, в ДНК которых присутствует трансген. Следовательно, он уже присутствует в каждой клетке организма.



При трансдукции гена с мутацией в ЭС-клетку или при трансдукции генетической последовательности, которая деактивирует некий ген (в геноме мыши), выводятся генномодифицированные животные, у которых отсутствует или не функционирует определенный ген (а значит, и соответствующий белок). Такие особи называются *мышами с нокаутированным геном*.



Что такое ЭС-клетка?

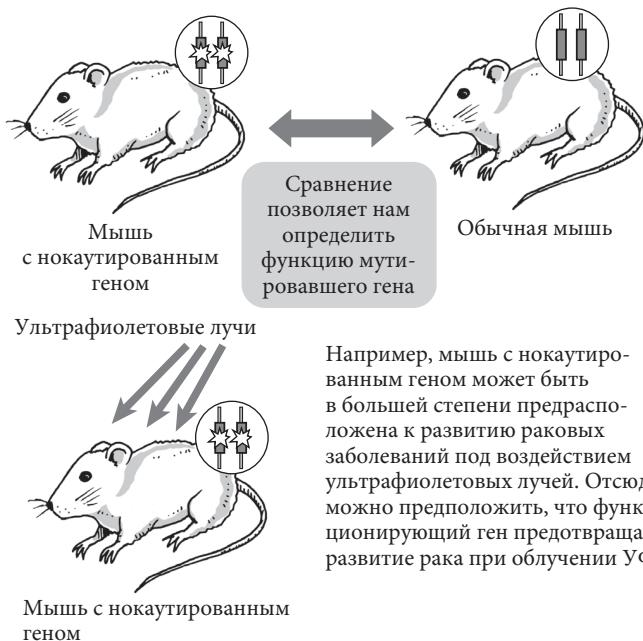




Это *эмбриональная стволовая клетка* – очень редкий вид клеток, получаемых из организма эмбриона ещё до того, как его клетки приобретают специфические свойства, характерные для тех или иных тканей. ЭС-клетка называется *мотипотентной* – это означает, что в дальнейшем из неё может развиться любая ткань. Если вы добавляете или нокаутируете ген в ЭС-клетке, а затем подсаживаете её в растущий эмбрион мыши, в конечном счёте вырастает мозаичная особь.



Изучение нокаутированных мышей весьма полезно для науки. Мы можем определить функцию гена, изучив различия между обычной мышью и той, которая его не имеет. Например, если мышь с нокаутированным геном под воздействием ультрафиолетовых лучей быстрее заболевает раком кожи, чем обычная мышь, мы предполагаем, что изучаемый ген, вероятно, препятствует развитию рака кожи при УФ-облучении. Однако для уточнения этого предположения нужны дальнейшие исследования, которые позволяют выяснить, как именно ген предотвращает болезнь. В 2007 году Нобелевская премия в области физиологии и медицины была присуждена трём учёным, открывшим способ выведения мышей с нокаутированным геном при помощи ЭС-клеток.



2

ПЕРСОНАЛИЗИРОВАННАЯ МЕДИЦИНА И ГЕННАЯ ТЕРАПИЯ

❖ ГЕНЕТИКА – КЛЮЧ К ПРОФИЛАКТИКЕ БОЛЕЗНЕЙ?



Вам приходилось слышать о метаболическом синдроме?



А-а! У моего отца метаболический синдром.



Ты имеешь в виду, что твоего отца отличает полнота? Тогда это еще не метаболический синдром!



Почему?



Метаболический синдром – это состояние, при котором у человека с избыточной массой тела развивается несколько симптомов из следующего ряда: высокий уровень сахара в крови, повышенное давление или дислипидемия. Последние два нарушения причисляют к тем, которые обусловлены образом жизни: считается, что это следствие вредных привычек, неправильного режима питания и гиподинамии. Отклонения от нормы, обусловленные образом жизни, чреваты серьёзными последствиями: развитием сахарного диабета, инфарктом миокарда и головного мозга и раком толстого кишечника. В некоторых случаях это приводит к летальному исходу.



Наверное, причина в том, что люди мало двигаются, но зато много едят и пьют...



Да, здесь есть прямая связь. Но подобные заболевания могут быть вызваны и генетическими факторами.



Генетические факторы?



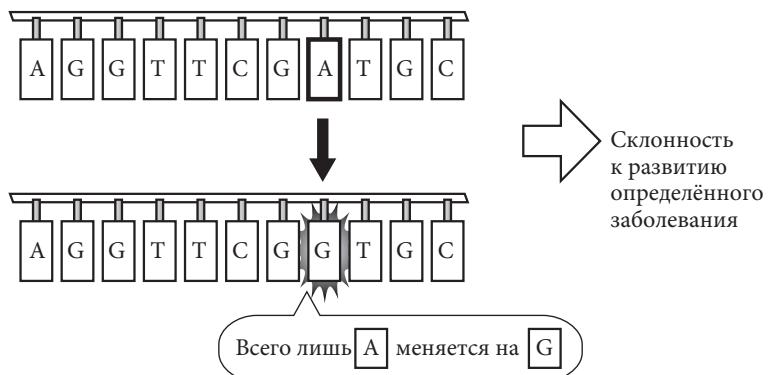
Демографические исследования, то есть исследования, касающиеся определённых групп населения, показали, что мутации некоторых генов приводят к развитию болезней, обусловленных образом жизни, вне зависимости от диеты и физической активности.



Та-ак... Получается, что метаболический синдром далеко не всегда спровоцирован образом жизни?



Вот именно! Изменение гена часто предполагает замену всего лишь одного основания в последовательности ДНК. Интересно, что при этом белок не перестаёт выполнять свою функцию, просто она заметно ослабляется. Такие постепенные изменения на протяжении жизни в конечном счёте увеличивают вероятность сердечного приступа или развития раковых заболеваний.



Примечание. Данная схема приведена для примера. Она не означает, что указанная замена последовательности способствует развитию определённой болезни.



Благодаря современным исследованиям значительно расширилось понимание того, какие гены отвечают за те или иные заболевания. В будущем у вас появится возможность узнать свой геном и выяснить, к каким заболеваниям вы предрасположены. Это основа так называемых персонализированных медицинских программ, адаптированных для конкретного пациента.



Это ведь страшно – знать заранее, чем ты можешь заболеть... Я бы предпочла оставаться в неведении.



А мне было бы интересно это узнать! Ведь тогда я смогу вовремя принять профилактические меры.



Профилактические меры?



Да... Ну во всяком случае, я бы морально подготовилась!



Помимо моральной подготовки понадобилось бы существенно изменить образ жизни. Зная, к чему предрасположен наш организм, мы можем соблюдать определённую диету, заниматься спортом и принимать иные меры, предотвращающие развитие болезни. Когда-нибудь персонализированные медицинские программы станут основополагающим аспектом профилактики заболеваний.



Ну да: соблюдение диеты, занятия спортом... Примерно это я и имела в виду!



Пожалуй, что-то в этом есть...

❖ ГЕННАЯ ТЕРАПИЯ



Есть ещё один метод лечения, о котором вы наверняка слышали. Это относительно новая технология, и называется она *генной терапией*.



Про генную терапию я что-то слышала... кажется, в новостях...



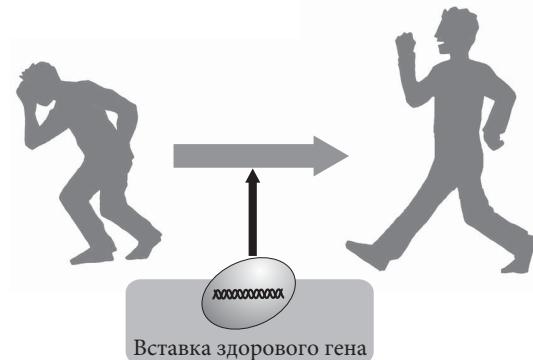
Что это за метод?



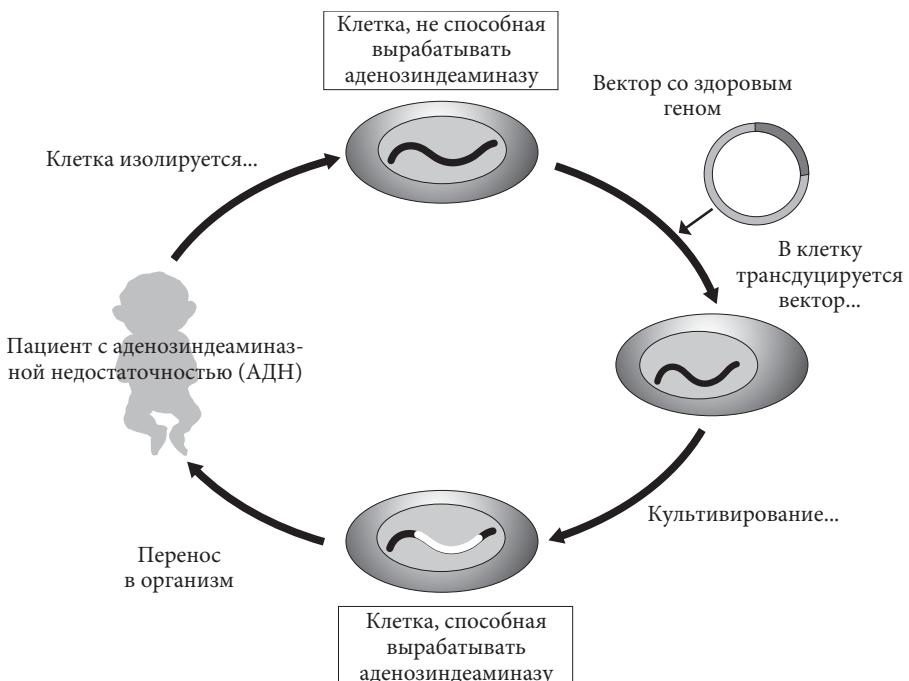
Представьте, что родился ребёнок с дефектным геном, жизненно важным для его существования. С таким серьёзным генетическим заболеванием младенец может умереть при рождении или в раннем возрасте.



Чтобы спасти таким людям жизнь, современная медицина иногда прибегает к генной терапии. Здоровые гены помещаются в специальные векторы, которые искусственным путём трансдуцируются в определенные клетки пациента. Таким образом, в организме появляется ген, обеспечивающий его жизнеспособность: благодаря этому гену начинает вырабатываться отсутствующий жизненно важный белок.



Генная терапия впервые была применена для лечения *аденозиндеаминазной недостаточности* (АДН). У людей с этим заболеванием отсутствует ген аденоzinдеаминазы. Белок (фермент) аденоzinдеаминаза участвует в метаболизме нуклеиновых кислот (ДНК и РНК). Лечение подразумевало внедрение здорового гена аденоzinдеаминазы в организм пациента, страдающего АДН. Таким образом, восстанавливалась возможность расщепления ДНК и РНК.





Да это же ключ к исцелению всех пациентов с генетическими недугами!



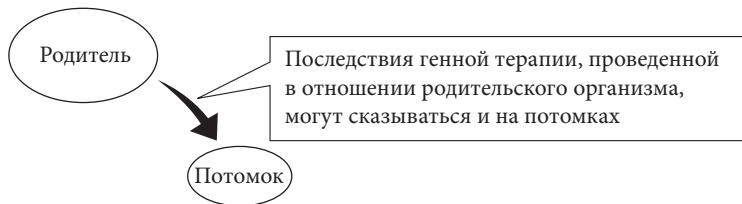
К сожалению, не всё так просто...



Почему?



Генная терапия – сложный с технической точки зрения, часто опасный метод. И он ещё до сих пор считается экспериментальным. Генетических заболеваний вроде АДН, с которыми генная терапия могла бы более или менее успешно справляться, не так уж много. Этот метод пытались использовать при лечении пациентов с опухолями мозга и раком груди, однако результаты пока далеки от идеала. К тому же генная терапия не всегда приемлема по этическим соображениям. Существуют ограничения по использованию генетического материала; встаёт вопрос о том, какие ткани можно брать для вставки гена. Есть и другие этические соображения, например, когда речь идёт о тестировании нового метода на детях.



Поэтому развитие генной терапии требует огромных денежных средств и человеческих ресурсов. К ней прибегают только в случаях, когда никакие иные способы лечения не подходят.



Но...



Знаю, что ты хочешь сказать! Разве можно думать о расходах, когда речь идёт о человеческих жизнях? Нет, мы прекрасно понимаем цену вопроса. Но должны смириться с тем, что на использование генной терапии наложены некоторые ограничения.



Похоже, это серьёзная проблема для науки.

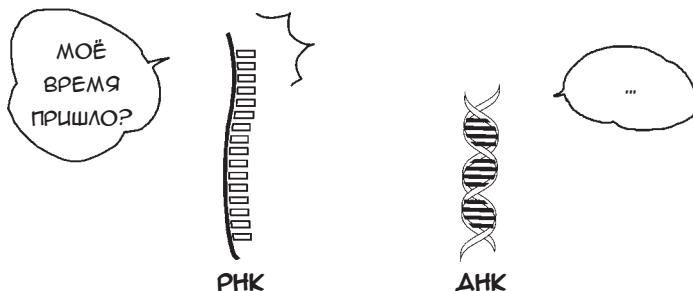
3

ГДЕ СОВРЕМЕННЫЙ ЛЕОНАРДО ДА ВИНЧИ?

❖ «РЕНЕССАНС» РНК

Учёные полагают, что из двух нуклеиновых кислот первой возникла РНК. Когдато она была единственной нуклеиновой кислотой на Земле. Задолго до того, как на нашей планете появились люди, РНК выполняла функцию кодирования генов и передачи их от родителей потомкам. Многим позже эту задачу взяла на себя ДНК, молекула которой намного более устойчива и больше подходит для того, чтобы хранить генетическую информацию. Когда молекулярная биология только начинала развиваться, учёные полагали, что единственное предназначение РНК – синтез белка.

Но недавние открытия позволили предположить, что у РНК есть множество важных функций. Вдобавок ко всему наука понемногу овладевает управлением РНК, заставляя её выполнять ещё больше полезной работы в клетке. На нынешнем этапе развития молекулярной биологии изучение и использование РНК – даже более востребованное направление, чем исследования ДНК. Некоторые деятели науки даже поговаривают об «эпохе ренессанса РНК»! Итак, РНК, которой до недавнего времени отводили вспомогательную роль, привлекла внимание учёных по всему миру.

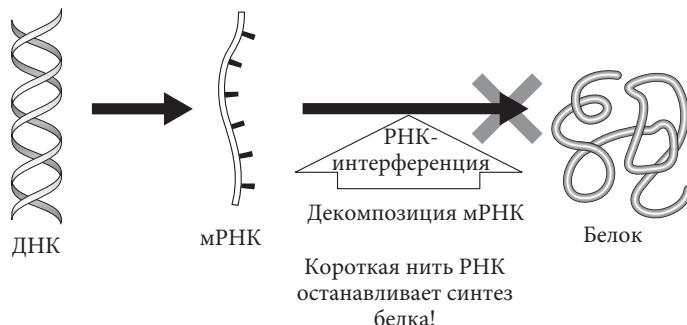


❖ РНК-ИНТЕРФЕРЕНЦИЯ: ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РНК ДЛЯ ИЗМЕНЕНИЯ ЭКСПРЕССИИ ГЕНОВ

В 2006 году Нобелевскую премию в области физиологии и медицины получили двое американских учёных, занимающихся молекулярной биологией: Эндрю Файер и Крейг Мелло – за открытие РНК-интерференции. Очень короткая комплементарная нить РНК может связываться с молекулой мРНК в клетке. В результате создаётся молекула РНК с двумя нитями, которую организм воспринимает как инородное тело. Поэтому ферменты, находящиеся в цитоплазме, расщепляют мРНК и интерфирирующую (присоединённую) РНК. Это препятствует преобразованию мРНК в белок.

Казалось бы, странно: Нобелевская премия – за открытие такого, можно сказать, деструктивного процесса?

Да, интерференция в конечном счёте приводит к ликвидации мРНК, но с точки зрения клетки это очень важный процесс. Расщепление мРНК – один из способов воспрепятствовать экспрессии генов, в силу чего поддерживается необходимое соотношение белков в организме. Вначале учёные полагали, что малые интерфирирующие РНК защищают клетку от вирусов. И лишь недавние исследования подтвердили, что это предотвращает синтез белков!



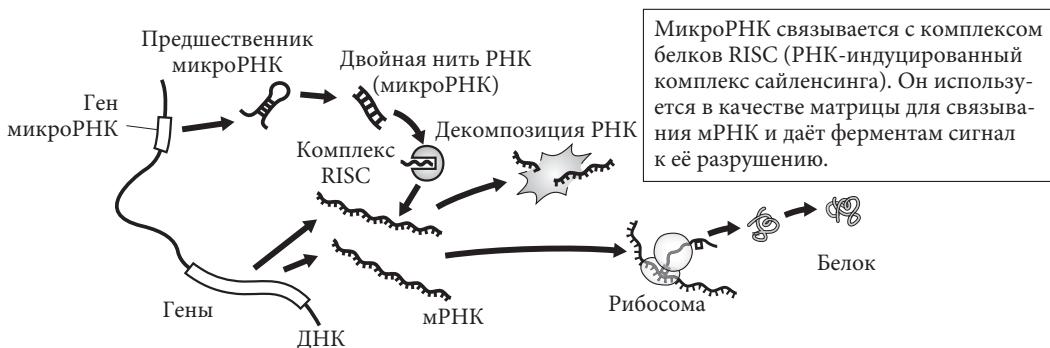
Вполне возможно, что стимулом к развитию этой функции как раз послужил механизм защиты клеток от вирусов. Вирусы – единственные живые существа, у которых для кодирования генов используются РНК с двойными нитями, а в клетке достаточно ферментов для расщепления такой РНК. Исследования показали, что значительное количество коротких нитей РНК, способных к интерференции, существуют в наших клетках независимо от вирусов.

В любой биологической среде должен поддерживаться определённый баланс. То же можно сказать и о клетках. Происходит это за счёт контролирования

экспрессии генов. РНК, нуклеиновая кислота, – один из факторов, который вносит баланс в общий процесс генной экспрессии.

МикроРНК связывается с особым комплексом белков – так называемым РНК-индуцированным комплексом сайленсинга (*RISC*), который служит матрицей для связывания мРНК и даёт ферменту команду расщепить её.

Как видите, у РНК много функций. Об мРНК мы уже поговорили. Что касается тРНК и рРНК (рибосомной РНК), они используются для создания белков. Теперь нам известна и ещё одна функция РНК – управление экспрессией генов с помощью коротких нитей (*миРНК*, *малая интерферирующая РНК*) и *микроРНК*. Другие виды РНК действуют сами по себе – в качестве ферментов, называемых *рибозимами*. Было обнаружено, что более 70 % генома мышей может использоваться для транскрибирования РНК. Эту функцию может брать на себя и значительная доля генома человека. Хотя учёные заметно продвинулись на пути изучения РНК, назначение некоторых её молекул до сих пор неизвестно.



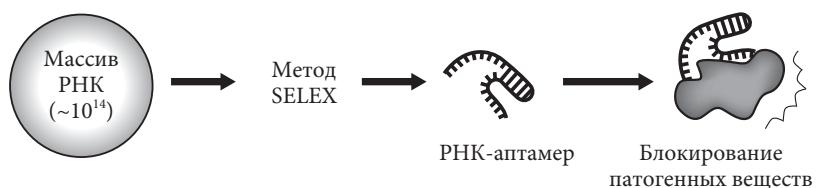
❖ МОЖЕТ ЛИ РНК ЛЕЧИТЬ БОЛЕЗНИ?

По мере исследования РНК учёные задумались над тем, как можно использовать её в медицинских целях. В настоящее время многие компании пытаются изобрести лекарство, используя миРНК. У РНК есть два свойства, благодаря которым её было бы удобно использовать как лекарство: во-первых, она легко синтезируется с любыми последовательностями оснований (A, G, C, U), тем самым допуская многообразие форм и размеров; во-вторых, РНК легко расщепляется в клетке, и такой лекарственный препарат будет быстро усваиваться.

Определённые молекулы РНК имеют свойство связывать белки. Следовательно, РНК можно было бы применять как средство, связывающее патогенные белки. Эта способность РНК в настоящее время изучается и оптимизируется в ходе

процедуры, которую назвали *методом SELEX* (систематическая эволюция лигандов экспоненциальным обогащением). При этом экспериментаторы анализируют схожие (но не идентичные) группы молекул РНК, чтобы определить, какие из них лучше всего связывают тот или иной белок. Наиболее подходящая для этого РНК называется *РНК-аптамером*.

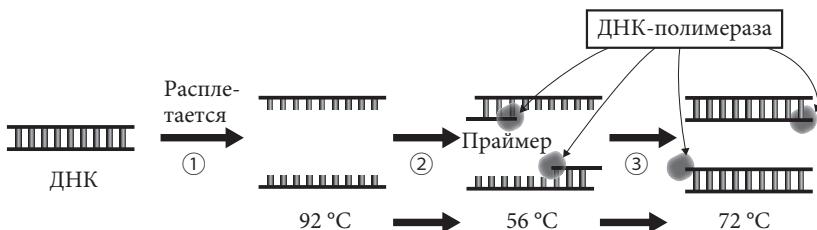
Первое лекарство на основе РНК, одобренное американским Управлением по санитарному надзору за качеством пищевых продуктов и медикаментов, называлось Pegaptanib. Это аптамер РНК, связывающий белок VEGF 165 и используемый для профилактики дегенерации роговицы – возрастной болезни глаз. Поскольку РНК и основанные на ней лекарства чрезвычайно легко расщепляются в желудке, есть основания полагать, что эти препараты имеют некоторые побочные эффекты. Окажутся ли аптамеры РНК чудодейственным средством, которое можно использовать без опасений? Это ещё предстоит установить.



Ч

МОЖНО ЛИ РАССКАЗАТЬ ПО ПОДРОБНЕЕ О ТОМ, КАК ПРОТЕКАЕТ ПЦР?

ПЦР (полимеразная цепная реакция, см. стр. 191) – это метод амплификации генов для использования в лабораторных условиях. Из главы 3 вы помните, что белок (фермент), который реплицирует ДНК, называется ДНК-полимеразой. С помощью этого белка в ходе ПЦР определённый ген копируется, и его количество возрастает в геометрической прогрессии.



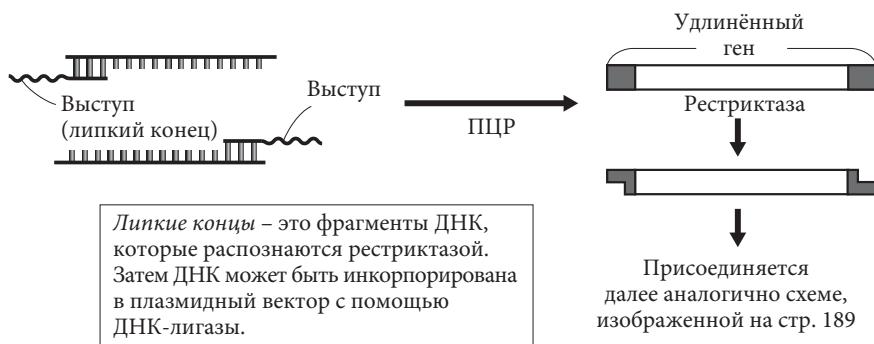
- ① 92 °C: при такой температуре двойная нить ДНК расплетается на одинарные.
- ② 56 °C: при охлаждении с каждой нитью связывается соответствующий праймер.
- ③ 72 °C: ДНК-полимераза запускает синтез ДНК.
- ④ Когда температура опять повышается до 92 °C, две новообразованные двойные нити ДНК расходятся. Этот процесс повторяется многократно.

Этот процесс протекает в живой биологической среде, но используется и для лабораторного анализа. ПЦР была разработана для обеспечения непрерывной репликации гена с последовательным изменением действующих на него ферментов и температуры реакции. Для этого большая группа нуклеотидов и два РНК-праймера (по одному для каждой нити) добавляются к буферу, содержащему образец ДНК. При увеличении температуры две нити ДНК отделяются друг от друга. При охлаждении раствора РНК-праймер связывает ДНК, и ДНК-полимераза копирует ген, используя для этого свободные нуклеотиды.

Обычно белки разрушаются, или денатурируют, при высоких температурах (40–50 °C). Для ПЦР используется редкая форма ДНК-полимеразы, которая может выдерживать очень высокую температуру. Этот фермент был выделен из бактерии *Thermus aquaticus*. Эти бактерии водятся только в горячих источниках и были обнаружены в гейзерных бассейнах Йеллоустонского национального парка, где вода почти доходит до кипения (около 75 °C).

Американский биохимик Кэри Муллис, разработавший ПЦР в 1993 году, в тот же год получил Нобелевскую премию в области химии. С тех пор были созданы компактные аппараты, автоматически регулирующие температуру и отслеживающие время каждого этапа ПЦР для многократного копирования генов. Как мы уже говорили (см. стр. 188), добавление пар оснований к праймеру позволяет включить эту новую последовательность в копируемый ген. Поэтому ПЦР можно использовать для создания новых генов и их внедрения в плазмиду с рестриктивными ферментами.

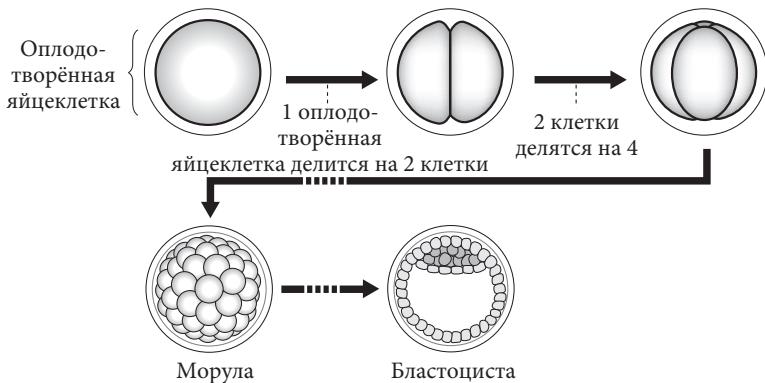
Недавно были изобретены некоторые разновидности ПЦР, дающие возможность, например, «превращать» РНК в ДНК и копировать её (*полимеразная цепная реакция с обратной транскрипцией*) или рассчитывать число копий ДНК и копий гена в лабораторном образце с максимальной точностью (количествочная ПЦР). Комбинирование этих методов позволяет установить, в частности, какой объём мРНК производит клетка на основе определённого гена (прямое измерение экспрессии гена). Кроме того, именно на ПЦР базируется анализ ДНК в судебной медицине.



5

КЛОНИРОВАНИЕ ЖИВОТНЫХ

Организм каждого животного, не исключая и человека, развивается из одной оплодотворенной яйцеклетки. Эта единственная клетка многократно делится, превращаясь в эмбрион. В дальнейшем клетки зародыша дифференцируются и образуют различные ткани – так в нашем теле появляются разные органы, формирующие определенные системы. На рисунке показано, как в ходе деления из яйцеклетки возникает эмбрион.

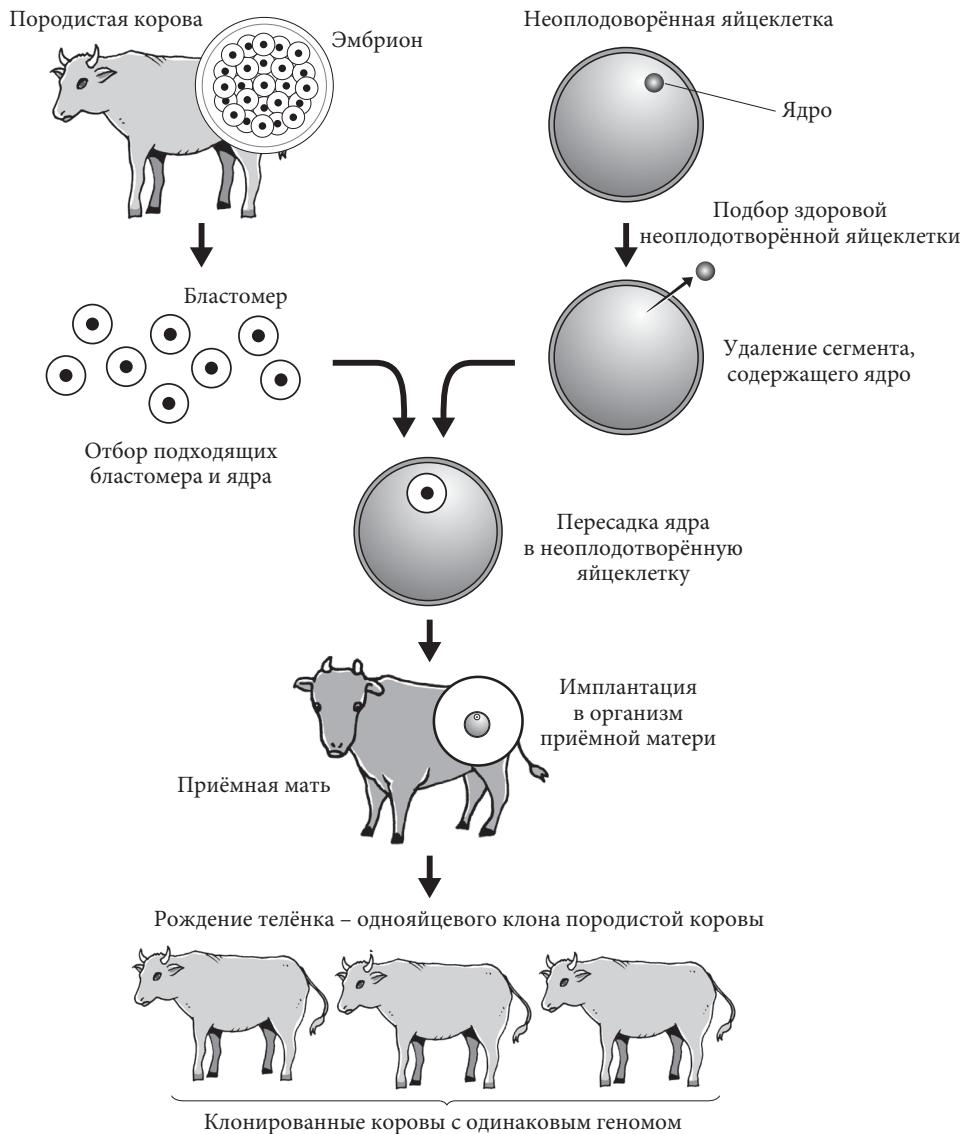


Мы уже много говорили о том, чем генетические исследования могут быть полезны для человечества. В течение многих лет учёные пытались создать растения, животные с идентичными характеристиками и на их примере лучше изучить и понять работу генов. Такой процесс называется **клонированием**. В принципе он несложен, но исследователям потребовались годы, чтобы отточить этот метод и довести до совершенства.

Как клонировать животное? Эмбрион на ранней стадии его развития удаляется из матки женской особи и расщепляется на отдельные клетки. Затем из каждой клетки извлекается ядро и внедряется в неоплодотворенную яйцеклетку с удаленным ядром. Затем яйцеклетка погружается в химическое вещество, позволяющее ядру прижиться, и через какое-то время пересаживается в матку приёмной матери. В результате может родиться несколько особей с одним и тем же набором генов (геномом). Сегодня этот метод используют в сельском хозяйстве, чтобы воспроизвести некоторое количество животных с одинаковыми признаками. Например, всего из одной оплодотворенной яйцеклетки развиваются несколько коров с пре-восходной убойностью и хорошим качеством мяса и кожи.

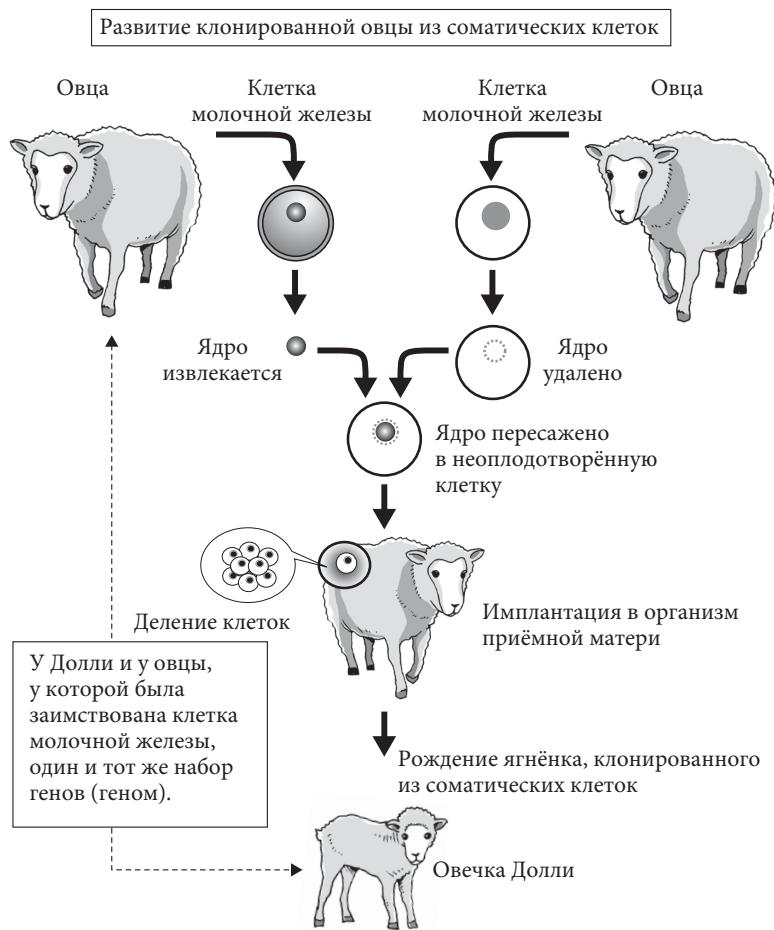
На самом деле клонирование возможно и в естественных условиях. Так из одной яйцеклетки появляются на свет однояйцевые близнецы. Только они являются клонами не по отношению к своим родителям, а по отношению друг к другу.

Рождение коровы, клонированной из оплодотворённой яйцеклетки



В науке уже известно несколько способов клонирования животных. Возможно, вы кое-что слышали о знаменитой овечке Долли. Она была клонирована в британской лаборатории в 1996 году. Долли – первое клонированное млекопитающее, имеющее только одного родителя. Если выше мы описывали клонирование с помощью половой клетки (яйцеклетки), то Долли развились из соматической клетки.

Посмотрим, как это произошло. Из клетки молочной железы овцы (то есть органа, экскретирующего молоко) было изъято ядро. Затем экспериментаторы извлекли неоплодотворенную яйцеклетку, удалили её ядро и заменили его ядром из клетки молочной железы. Наконец, яйцеклетку подсадили в организм приёмной матери.



Геном рождённого клона ничем не отличается от материнского (он будет одинаковым вне зависимости от того, сколько потомков появилось таким образом). У Долли был только один биологический родитель (мать). После успешного завершения эксперимента с Долли аналогичным образом – из соматических клеток – были клонированы мыши и коровы.

Дальнейшее развитие этой технологии может превзойти самые смелые ожидания. Теоретически ничто не мешает опробовать на людях способ, использованный в случае с Долли. В результате появится на свет ребёнок, представляющий собой точную копию своего родителя, из клетки которого было извлечено ядро. Но, как нам известно на примере близнецов, их характер и привычки определяются средой и воспитанием и совсем не всегда бывают похожими. Идея клонирования людей чревата юридическими осложнениями, не говоря уже о том, что она противоречит этическим нормам. Во множестве стран разрешено изучение стволовых клеток эмбриона человека, но исследования, направленные на клонирование человека, в большинстве стран запрещены.

6

МОЛЕКУЛЯРНАЯ ЭВОЛЮЦИЯ: ИСТОРИЯ, ЗАШИФРОВАННАЯ В ГЕНАХ

Обычно мы воспринимаем эволюцию как естественный, природный процесс. Окружающая среда – начиная с климата и заканчивая наличием хищников, угрожающих тому или иному виду, – определяет особенности развития вида. Естественный отбор основывается на том, кто из представителей вида способен произвести больше здорового жизнеспособного потомства. Но каков точный механизм эволюции? Она во многом зависит от мелких и крупных генных изменений, зачастую возникающих случайно! Если такое изменение повышает выживаемость особи (увеличивает длительность жизни, позволяет поймать больше добычи или существовать в более разнообразных климатических условиях), эти качества в конечном счёте передаются и потомкам.

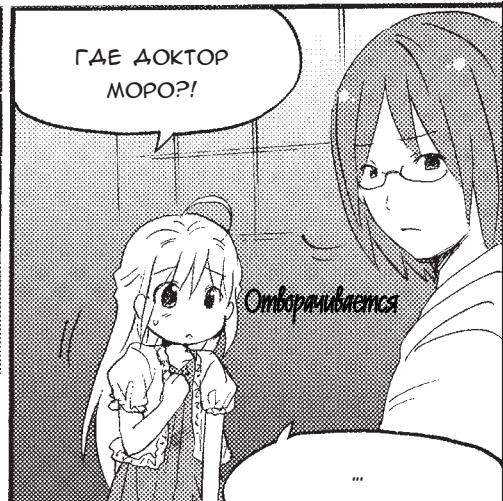
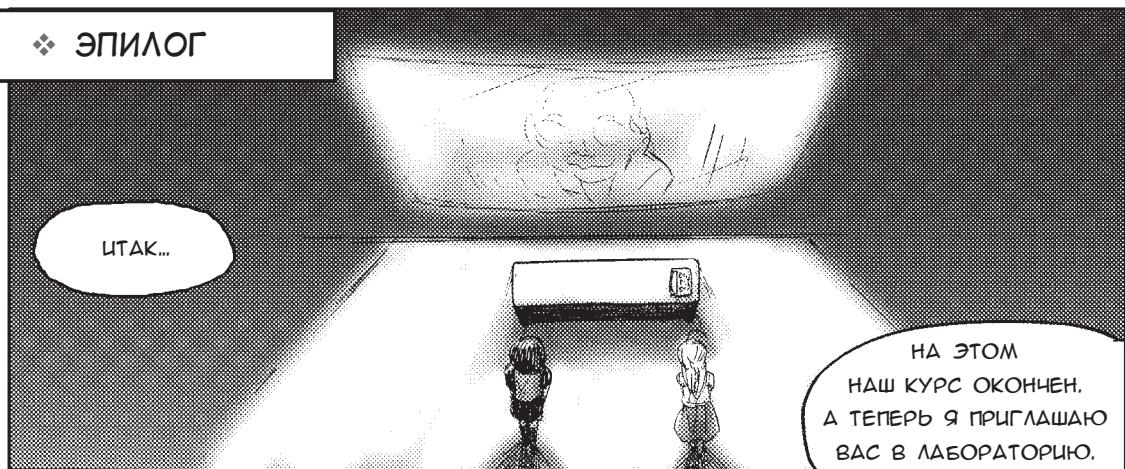
Случайные изменения в последовательности оснований ДНК называются *мутациями*. Мутации происходят естественным образом – например, в результате повреждения, неправильного восстановления ДНК или ошибок при копировании ДНК. Мутации бывают незначительными (например, в гене меняется всего одно основание) – тогда изменения в соответствующем белке минимальны. Но бывают и ярко выраженные нарушения – например, изменение хромосомного набора. В особых случаях (обусловленных как мелкими, так и крупными мутациями) принципиально меняется структура, функция или экспрессия белка, за создание которого отвечает мутировавший ген. Такие изменения с наибольшей вероятностью могут повлиять на поведение, выживание и репродуктивную способность

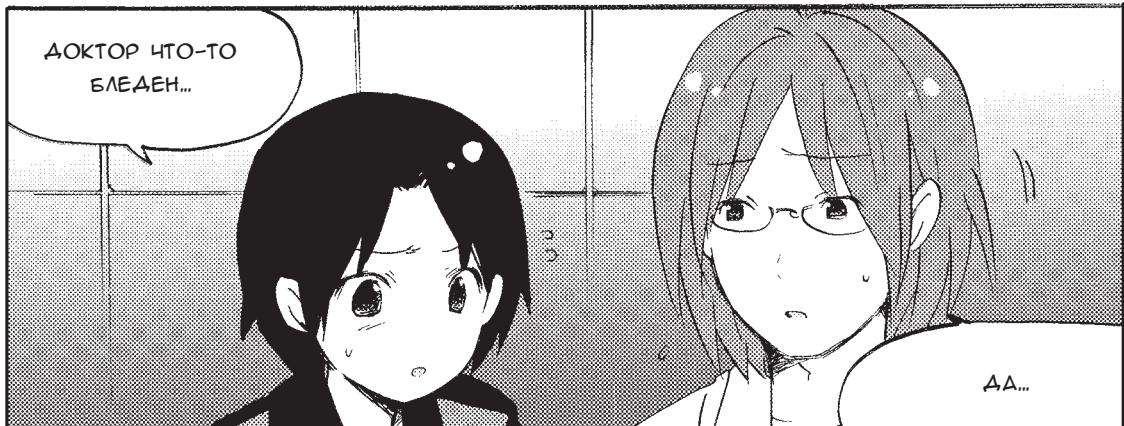
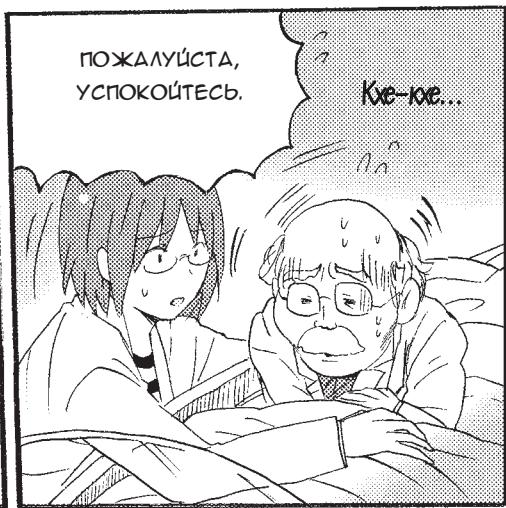
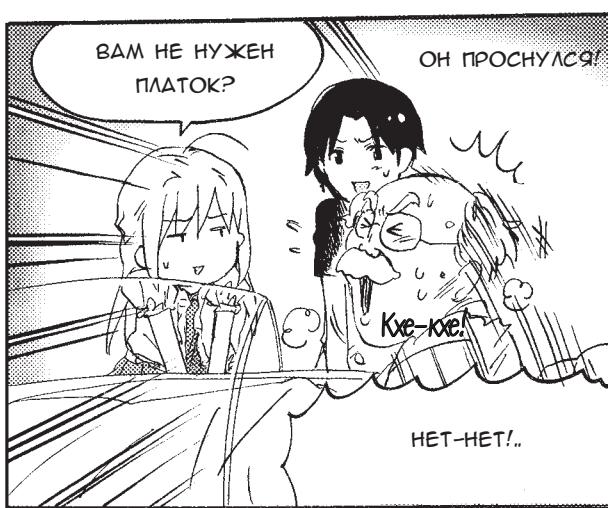
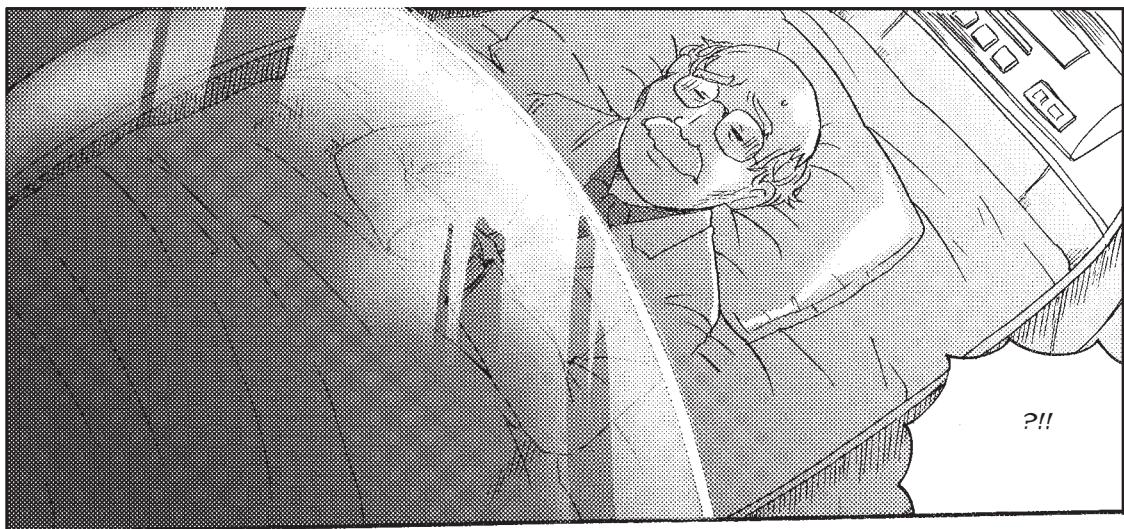
организма. Влияние изменений в отдельных генах на развитие всего организма называется *молекулярной эволюцией*.

Подробный анализ последовательности и структуры генов помогает понять, являются ли определённые растения или животные «близкими родственниками». Сравнивая последовательности в наборе генов двух особей разных видов, мы можем определить, насколько схож их геном. Если обнаруживается высокая степень схожести, можно говорить о родстве обоих видов. Поскольку приблизительно известно, с какой частотой накапливаются мелкие мутации, изучение межвидовых отличий позволяет установить примерный период появления этих видов от общего потомка.

Благодаря развитию молекулярной биологии стали возможными настолько точные и детализированные исследования, что теперь всю историю жизни и эволюции видов на нашей планете можно изучить на молекулярном уровне.

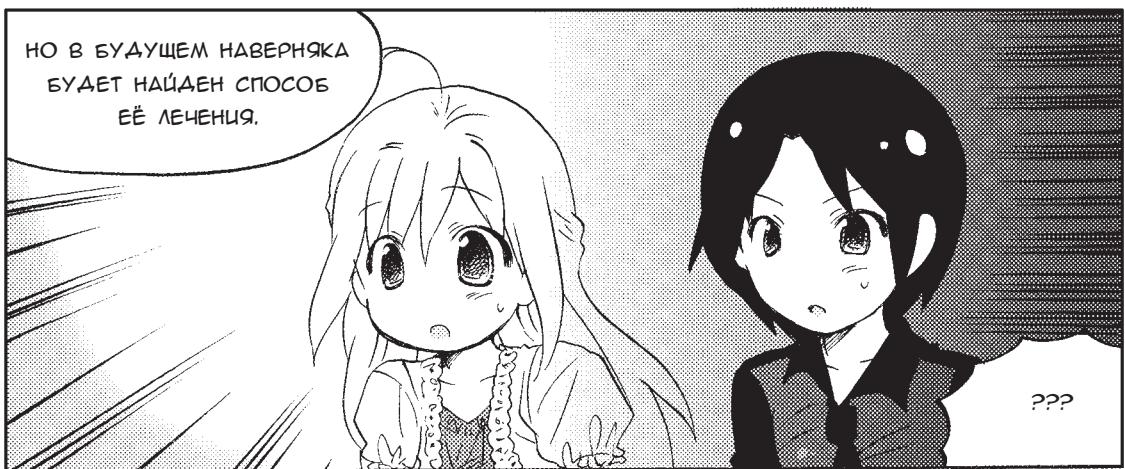
❖ ЭПИЛОГ







НО В БУДУЩЕМ НАВЕРНЯКА
БУДЕТ НАЙДЕН СПОСОБ
ЕЁ ЛЕЧЕНИЯ.



ЭТА КРИОМАШИНА – РАЗРАБОТКА
ДОКТОРА. ОНА ПОНИЖАЕТ ТЕМПЕ-
РАТУРУ ТЕЛА ЧЕЛОВЕКА, И ОН
ПОГРУЖАЕТСЯ В СОН.

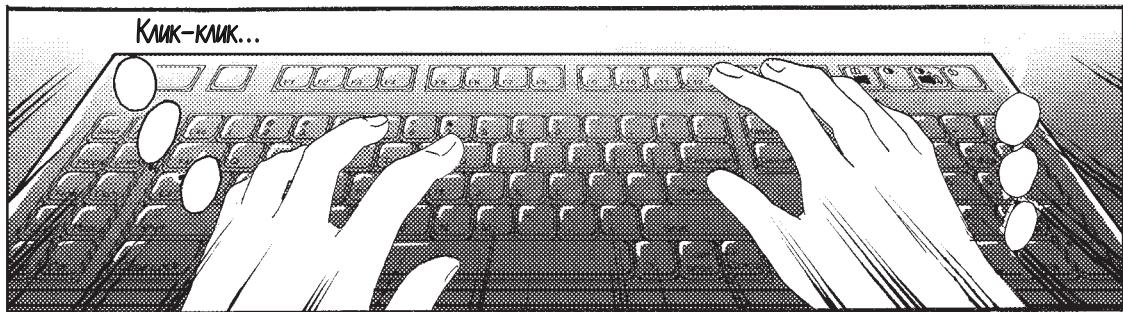


ТАКИМ ОБРАЗОМ
ОН РАССЧИТЫВАЕТ
ВЫЖДАТЬ ВРЕМЯ,
ПОКА МЕДИКИ НЕ ОТКРОЮТ
СПОСОБ ЕГО ИСЧЕЛЕНИЯ.

ПОСЛУШАЙТЕ, А НА
ЭТО В САМОМ ДЕЛЕ
ЕСТЬ НАДЕЖДА?



НУ... КОНЕЧНО,
НИКТО НЕ ДАСТ
ПОЛНОЙ ГАРАНТИИ...





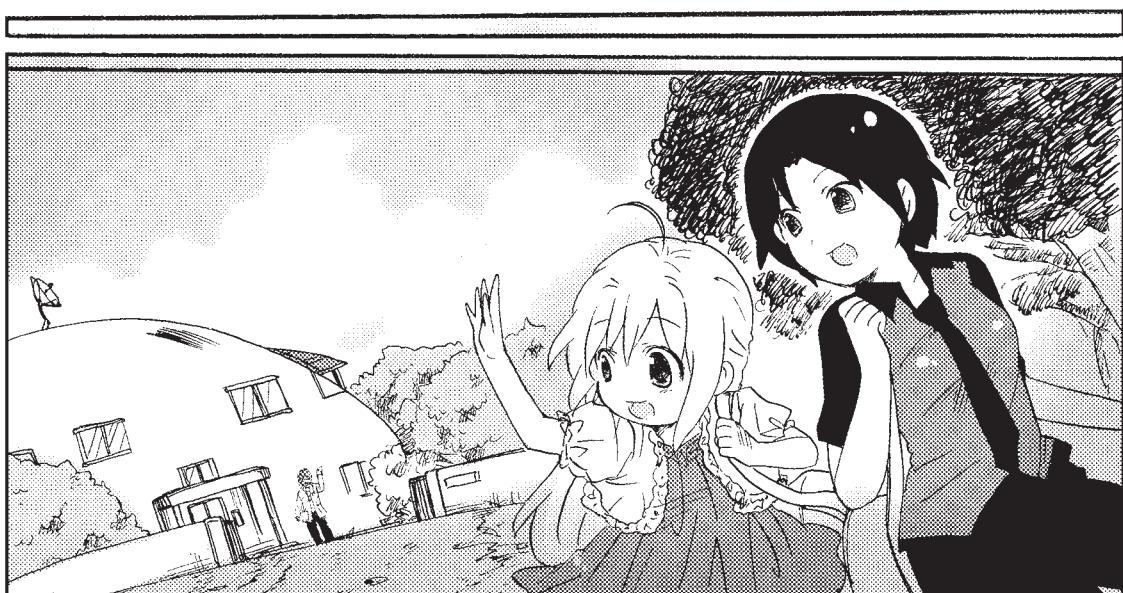
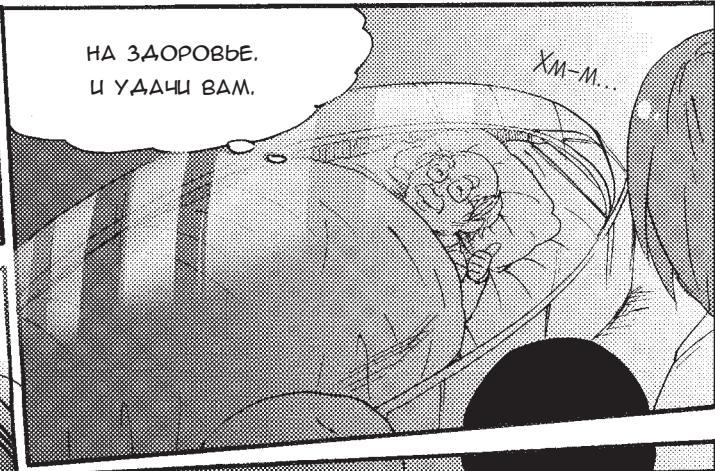
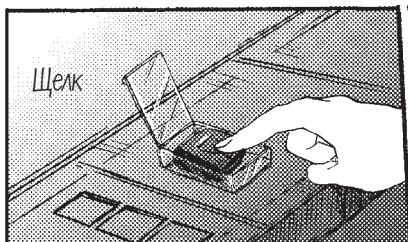
Я ТОРЖЕСТВЕННО ОБЕЩАЮ
СТАТЬ ВРАЧОМ!

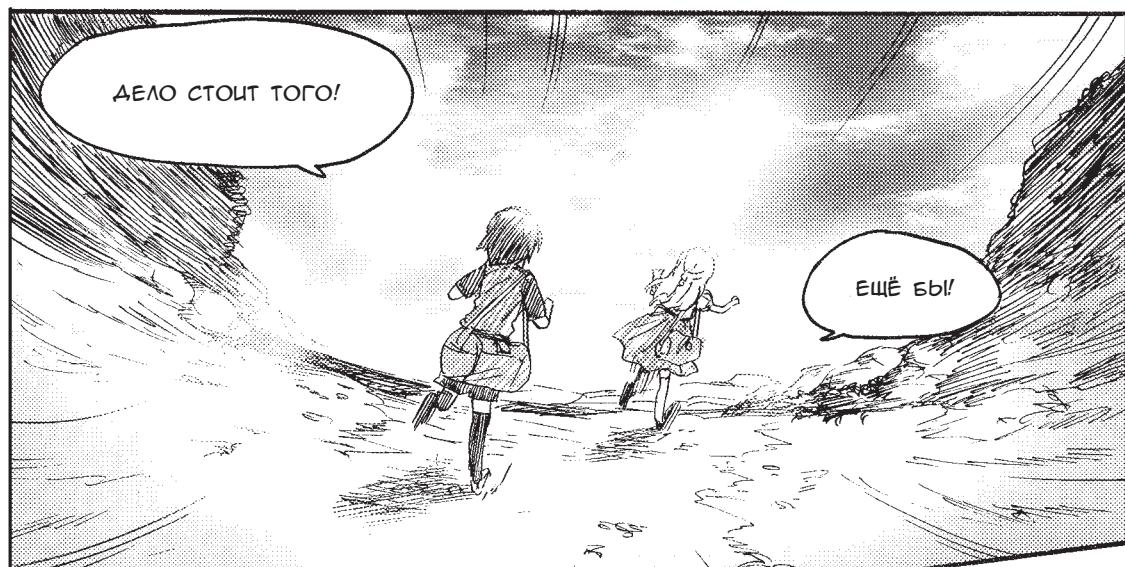


И Я БЫ ТОЖЕ...
ХОТЕЛА ПОМОЧЬ...

НУ ЧТО Ж,
ПОДОЖДУ ВАШИХ
СМЕЛЫХ ОТКРЫТИЙ...







ПРЕДМЕТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ

A

А (аденин) 86, 87, 109, 161

C

С (цитозин) 86, 87, 109, 161

E

E. coli (*Escherichia coli*), бактерия 195

G

G (гуанин) 86, 87, 109, 161

I

I (инозин) 174

R

RISC, РНК-индуцированный комплекс сайленсинга 207

S

SELEX, метод 208

T

Thermus aquaticus, бактерия 209

T (тимин) 86, 87, 109, 161, 162

U

U (урацил) 161, 162

A

Агарозный гель 196

Аденин. См. А (аденин)

Аденозиндеаминаза 203

Аденозиндеаминазная недостаточность (АДН) 203

Аденозинтрифосфат (АТФ) 33

Аксон 24

Актин 71, 72

Аланин 74, 170, 171, 173

кодон 172

АЛДГ (ацетальдегиддегидрогеназа) 70

АЛДГ2 (ацетальдегиддегидрогеназа) 70

Алкоголь 59, 65, 67, 69, 70

Алкогольдегидрогеназа 66, 67, 69, 70

Амёба 49

Аминокислоты. См. также Типы

аминокислот 23, 73

кодоны 171, 172

цепь 175, 176

Анафаза 128

Анемия 76

Антикодон 174, 175

Антионкоген 132

Аппарат Гольджи 25, 31, 32

Аргинин 74

кодон 172

Аспарагин 74

кодон 172

Аспарагиновая кислота, кодон 172

Аспартат 74

АТФ. См. Аденозинтрифосфат (АТФ)

Аутосома 125

Ацетальдегид 67, 69, 70

Ацетальдегиддегидрогеназа 67, 70

Б

Базальные клетки 105

Бактерии 48, 49

Escherichia coli 194

Thermus aquaticus 209

Белки 60
актин 72
в гемоглобине 76
глобины 76
как полимеры 87
миозин 72
молекула 42, 43
роль в делении клеток 70
роль в сокращении мышц 71, 72
стерическая структура 77
Бесполое размножение 102

В

Валин 74, 76
кодон 172
Везикула 31
Вектор 194, 195, 198
Веретено деления 128
Вода 8, 9, 70
Водород 163

Г

Гель-электрофорез 196
Гемоглобин 72, 75, 76
Генетический код 171
Генная терапия 202, 204
Генномодифицированные животные 97, 197–199
Геном 89–91
Ген-супрессор 132
Гены
антионкогены 132
нокаутированные 198, 199
псевдогены 146
рекомбинация 197
РНК. См. РНК (рибонуклеиновая кислота)
супрессоры 132
трансген 197
экспрессия 91
Гидроксильная группа (OH) 163
Гистидин 74, 170, 171, 173
кодон 172
Гистон 43, 124
Гликоген 61
Гликогенсинтаза 61, 69
Глицин 74
кодон 172
Глобины 76
Глутамат 74
натрия 74

Глутамин 74
кодон 172
Глутаминовая кислота 76
Глюкоза 23, 33, 61
Гомеостаз 72
Гуанин. См. Г (гуанин)

Д

Дезоксирибоза 85, 86, 162, 163
Дезоксирибонуклеиновая кислота.
См. ДНК (дезоксирибонуклеиновая кислота)
Дезоксирибонуклеотид 84
Дендрит 24
Дерма 104
Диоксид углерода 70
ДНК (дезоксирибонуклеиновая кислота) 36, 43
двойная спираль 83, 164
избыточная 147
и нуклеотиды 82
кольцевая 194
обнаружение и выделение 196
очищение 196
плазмидная 194
репликация 70
роль в создании белка 45
ДНК-лигаза 193
ДНК-полимераза 70, 117, 209

*

Желудок 48, 51
ткани 50
Жир 61

З

Зигота 103

И

Избыточная ДНК 147
Изолейцин 74
кодон 172
Иммуноглобулин 72
Индуцированный РНК комплекс сайленсинга
(RISC) 207
Инициаторный кодон 173
Инозин. См. И (инозин)
Инсулин 72
Интерфаза 131

Интроны 157, 158

Информационная РНК. См. мРНК (матричная РНК)

Инфузория-туфелька 49, 52

К

Канцероген 141

Карбоксиконцевой домен 157

Катализатор 67, 69

Кератин 57, 72

Кислород 33, 76

Клетки 23, 24

базальные 105

деление 70, 126–129

динамическое 126–129

кожи 105

кровяные, серповидные 76

лизосома 34

мембрана 23, 27

мышц 60, 71

раковые 132, 133

строение 25

типы 49

totипотентные 199

цитокенез 129

эмбриональные стволовые (ЭС) 198, 199

ядро 35, 36, 126

Клеточная

мембрана. См. Клетки, мембрана

пластинка 129

стенка 129

Клеточный

сигнал внутриядерной локализации 38

цикл 130, 131

Кодон 169, 171

инициаторный 173

стоп-кодон 172, 173

Кожа, строение 104, 105

Коллаген 57, 72

Комплекс

Гольджи. См. Аппарат Гольджи

сайленсинга. См. RISC

ядерной поры 44

Крахмал 61

Кровь 75

Λ

Лёгкие 105

Лейцин 74

кодон 172

Лизин 74

кодон 172

Лизосома 25, 32, 34

Липиды 23

фосфолипиды 27

Липкий конец 193

Μ

Мальтоза 61

Матричная РНК. См. мРНК (матричная РНК)

Мембрана. См. Клетки, мембрана

Мембранные слияние 32

Метаболический синдром 200, 201

Метафаза 127

Метионин 74, 169, 170, 171, 173

кодон 172

Метод SELEX 208

МикроРНК 207

Микротрубочки 127

Миозин 57, 71, 72

миРНК (малая интерферирующая РНК) 207

Митоз 126, 128, 131

Митотическое веретено 128

Митохондрия 25, 33

строение 33

Многоклеточные организмы 49

Мозаичный организм 199

Молекулярная эволюция 215

мРНК (матричная РНК) 44, 57, 156, 168, 169, 170, 173

образование концов 157

Мутация

обычной клетки в раковую 132

цитозина 162

Мышечная ткань 49, 50

Мышечные волокна 71

Η

Нейрон 24

Неоднозначные пары оснований 174

Нервная ткань 50

Нити веретена 127, 128

Нокаут 197, 199

Нокаутированный ген 197–199

Нуклеосома 43

Нуклеотиды 73, 81, 84

и ДНК 82

основания 86

структура 85, 119

O

Одноклеточные организмы 48–50
ОН (гидроксильная группа) 163
Опухоль 132
Организмы
 многоклеточные 49
 одноклеточные 48, 49
Органы 50
Основания нуклеотидные 86, 109

П

Пероксисома 32
Печень 64
 ферменты 66
Пировиноградная кислота (пируват) 33
Полимераза. См. ДНК-полимераза,
 РНК-полимераза
Полимеразная цепная реакция.
 См. ПЦР (полимеразная цепная реакция)
Полимеры 87
Последовательность оснований 87
Преинициаторный комплекс 169
Прокариоты 51, 52
Пролин 74
 кодон 172
Простейшие 49, 52
Профаза 126
Псевдогены 146
ПЦР (полимеразная цепная реакция) 191–193, 196,
 209–211
 с обратной транскрипцией 210

Р

Рак 132, 141
 опухоль 132
 толстого кишечника 200
Раковые
 клетки 132, 133
 опухоли 132
Репликация ДНК 70
Рестриктивный фермент (рестриктаза) 192, 193
Рибоза 163
Рибонуклеиновая кислота.
 См. РНК (рибонуклеиновая кислота)
Рибонуклеотид 163
Рибосома 31, 81, 168, 169, 173, 175
 синтез белков 116
Рибосомная РНК. См. рРНК (рибосомная РНК)

РНК-аптамер 208

РНК-затравка. См. РНК-праймер

РНК-индуцированный комплекс сайленсинга
 (RISC) 207

РНК-полимераза 156
 карбоксиконцевой домен 157

РНК-праймер 117, 209

РНК (рибонуклеиновая кислота)

 виды. См. также мРНК, миРНК, рРНК, тРНК 165

 гибкость 164

 интерференция 206

 информационная. См. мРНК (матричная РНК)

 матричная. См. мРНК (матричная РНК)

 новейшие исследования 205, 206

 основания 160–162

 рибосомная. См. рРНК (рибосомная РНК)

 роль в создании белка 45

 транспортная. См. тРНК (транспортная РНК)

рРНК (рибосомная РНК) 165, 169

С

Сахар. См. также Глюкоза

 в ДНК и РНК 162, 163

 в крови 61

 в составе нуклеотида 86

 дезоксирибоза 85

Свёртывание (фолдинг) 177

Сердце 105

Серин 74, 170, 171

 кодон 172

Симбиотические отношения 48

Система 50

 дыхательная 38

Соединительная ткань 49, 50

Сплайсинг 158

Сплайсосома 158

Стволовые клетки.

 См. Эмбриональные стволовые клетки

Стерическая структура 77

Стоп-кодон 173, 176

Субъединица (рибосомы)

 большая 168

 в гемоглобине 76

 малая 168

Супрессор 132

Т

Тело клетки 24

Телофаза 128

Тимин. См. Т (тимин)

Типы аминокислот, кодоны 172

Тирозин 74

кодон 172

Ткани 49, 50

желудка 50

мышечная 49, 50

нервная 50

соединительная 49, 50

эпителиальная 50

Толстый кишечник 48, 51

Тонкий кишечник 48, 61

Топоизомераза 70

Тотипотентные клетки 199

Трансген 197

Трансдукция 194, 195

Трансляция 168–176

механизм синтеза белка 168–170

роль аминокислот 168–176

Транспортная РНК. См. тРНК

(транспортная РНК)

Треонин 74

кодон 172

Триптофан 74

кодон 172

тРНК (транспортная РНК) 165, 168, 173

Ү

Уксусная кислота 67, 69

Ультрафиолетовое (УФ) излучение 141, 199

Урацил. См. У (урацил)

Φ

Фактор высвобождения 175, 176

Фенилаланин 74

кодон 172

Фермент 57, 67, 69

в печени 66

ДНК-лигаза 193

рестрикции (рестриктаза) 192

Фолдинг (свёртывание) 177

Фосфолипидный бислой 28, 29, 31

Фосфолипиды 27

гидрофильные 28

гидрофобные 28

Фосфорная кислота 85, 162, 163

Х

Химерный организм 198

Хроматин 124

Хромосомы 89, 90, 124–128

половые 125

Ц

Центросома 25, 126

Цикл клеточный. См. Клеточный цикл

Цистеин 74

кодон 172

Цитозин. См. С (цитозин)

Цитокинез 129, 131

Цитоплазма 25, 31, 156

Э

Эволюция 214

молекулярная 215

Экзоны 157, 158

перестановка 159, 160

Экспрессия генов 91

Эмбрион 211

Эмбриональные стволовые клетки 198, 199

Эндоплазматическая сеть 25, 31, 36

Эпидермис 104

Эпителиальная ткань 50

ЭС-клетки. См. Эмбриональные стволовые клетки

Эукариоты 51, 52

Я

Ядерная оболочка 36, 44, 126, 156

поры 36, 156

Ядро 25, 35, 44, 126, 156

формирование 128

ядерная оболочка 36

Ядрышко 25

*

3'-конец 119

5'-конец 119

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

Такэмура Масахару

Должность в настоящее время: адъюнкт-профессор Токийского университета естественных наук, доктор медицинских наук.

Специализация: преподавание биологических дисциплин, молекулярная биология, теория репликации.

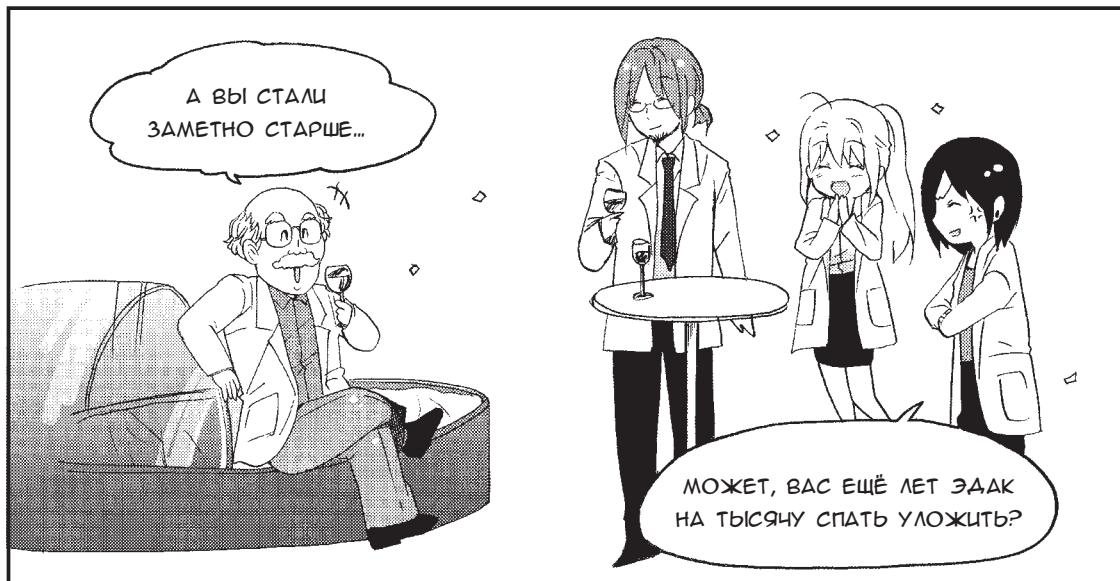
Сценарий: Маэда Масаёси

Комиксы: Сакура

Иллюстрации: Shimada Design Project, Судзуки Смит

Дизайн обложки: Оги – Огива,

Допечатная подготовка: акционерная компания BECOM



Такэмура Масахару (автор), Сакура (художник)

Занимательная молекулярная биология. Манга

Главный редактор Д. А. Мовчан

dmkpress@gmail.com

Перевод с японского А. Б. Клионский

Научный редактор С. В. Калёнов

Вёрстка А. Ю. Татаринов

Корректор О. В. Готлиб

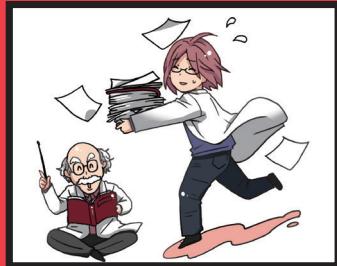
Обложка А. Г. Мовчан

Формат 70×100/16.

Усл. п. л. **18,5**. Тираж 500 экз.

Веб-сайт издательства «ДМК Пресс»: www.dmkpress.com

ОБРАЗОВАТЕЛЬНАЯ МАНГА



ЗАНИМАТЕЛЬНАЯ МАНГА **МОЛЕКУЛЯРНАЯ БИОЛОГИЯ**

ДВЕ СТУДЕНТКИ ЗНАМЕНИТОГО БИОЛОГА ДОКТОРА МОРО, АМИ КАСУГА И РИН НАЦУКАВА, РЕГУЛЯРНО ПРОПУСКАЛИ ЗАНЯТИЯ И РИСКУЮТ ПРОВАЛИТЬ ЭКЗАМЕН. ОДНАКО ПРОФЕССОР ЗАИНТЕРЕСОВАН В ТОМ, ЧТОБЫ КАЖДЫЙ СТУДЕНТ ЗНАЛ ЕГО ПРЕДМЕТ НА "ОТЛИЧНО". ОН ПРИГЛАШАЕТ НЕРАДИВЫХ СТУДЕНТОК НА ТАИНСТВЕННЫЙ ОСТРОВ, ГДЕ ПОД РУКОВОДСТВОМ ЛАБОРАНТА МАРКУСА ОНИ ПРОЙДУТ ИНТЕНСИВНЫЙ КУРС ОБУЧЕНИЯ МОЛЕКУЛЯРНОЙ БИОЛОГИИ - ОТ СТРОЕНИЯ КЛЕТКИ ДО ГЕННОЙ ИНЖЕНЕРИИ И КЛОНИРОВАНИЯ. А ЗАОДНО УЗНАЮТ, КАКУЮ ПЕЧАЛЬНУЮ ТАЙНУ СКРЫВАЛА ОТ НИХ ДОКТОР...

ИЗДАНИЕ ПРЕДНАЗНАЧЕНО ДЛЯ СТУДЕНТОВ МЕДИЦИНСКИХ И ХИМИЧЕСКИХ СПЕЦИАЛЬНОСТЕЙ, А ТАКЖЕ ВСЕХ, КТО ИНТЕРЕСУЕТСЯ ТАЙНАМИ ПРИРОДЫ И ПРОЦЕССАМИ, ПРОТЕКАЮЩИМИ В ЖИВЫХ ОРГАНИЗМАХ.

ЗАНИМАТЕЛЬНАЯ МАНГА
МОЛЕКУЛЯРНАЯ БИОЛОГИЯ



Масахаро Такемура
Сакура
Trend-ProCo., Ltd.

Интернет-магазин: www.dmkpress.com

Книга-почтой: orders@aliants-kniga.ru

Оптовая продажа: "Альянс-книга".
(499)782-3889. books@aliants-kniga.ru

ДМК
издательство
www.dmk.ru

ISBN 978-5-97060-354-3



9 785970 603543 >