

# А

Российская академия наук  
Российская академия образования  
Издательство «Просвещение»

Академический школьный учебник

С Ф Е Р Ы

Л.Н. Сухорукова  
В.С. Кучменко  
Т.В. Иванова

# БИОЛОГИЯ

# БИОЛОГИЯ



10-11



ПРОСВЕЩЕНИЕ  
ИЗДАТЕЛЬСТВО

А

Российская академия наук  
Российская академия образования  
Издательство «Просвещение»

АКАДЕМИЧЕСКИЙ ШКОЛЬНЫЙ УЧЕБНИК



Л.Н. Сухорукова  
В.С. Кучменко  
Т.В. Иванова

# БИОЛОГИЯ

**10–11**  
классы

Учебник  
для общеобразовательных  
учреждений

*Рекомендовано  
Министерством образования и науки  
Российской Федерации*

Москва  
«ПРОСВЕЩЕНИЕ»  
2011

УДК 373.167.1:57  
ББК 28.0я72  
С91

*Серия «Академический школьный учебник» основана в 2005 году*

Проект «Российская академия наук, Российская академия образования, издательство «Просвещение» — российской школе»

Руководители проекта:  
вице-президент РАН акад. **В.В. Козлов**,  
президент РАО акад. **Н.Д. Никандров**,  
управляющий директор издательства «Просвещение»  
чл.-корр. РАО, доктор пед. наук **А.М. Кондаков**

Научные редакторы серии:  
акад. РАО, доктор пед. наук **А.А. Кузнецов**,  
акад. РАО, доктор пед. наук **М.В. Рыжиков**,  
доктор экон. наук **С.В. Сидоренко**

*Серия «Сферы» основана в 2003 году*

Руководители проекта:  
чл.-корр. РАО, доктор пед. наук **А.М. Кондаков**,  
чл.-корр. РАО, доктор геогр. наук **В.П. Дронов**

Линия учебно-методических комплектов «СФЕРЫ» по биологии  
Научный консультант: доктор пед. наук **Т.В. Иванова**

*На учебник получены положительные заключения  
Российской академии наук  
и Российской академии образования*

**Сухорукова Л.Н.**

С91 Биология. 10–11 классы : учеб. для общеобразоват. учреждений / Л.Н. Сухорукова, В.С. Кучменко, Т.В. Иванова ; Рос. акад. наук, Рос. акад. образования, изд-во «Просвещение». — М. : Просвещение, 2011. — 127, [1] с. : ил. — (Академический школьный учебник) (Сферы). — ISBN 978-5-09-019838-7.

Данный учебник завершает линию учебно-методических комплектов «Сферы» по биологии и служит логическим продолжением учебника для 9 класса. Главное внимание уделено основным законам и теориям биологии, охватывающим разные уровни организации живой природы.

Особенностями данного учебника являются фиксированный в тематических разворотах формат, лаконичность и жёсткая структурированность текста, разнообразный иллюстративный ряд. Использование электронного приложения к учебнику позволит значительно расширить информацию (текстовую и визуальную) и научиться применять её при решении разнообразных биологических задач и подготовке творческих работ.

УДК 373.167.1:57  
ББК 28.0я72

ISBN 978-5-09-019838-7

© Издательство «Просвещение», 2011  
© Художественное оформление.  
Издательство «Просвещение», 2011  
Все права защищены

# СОДЕРЖАНИЕ

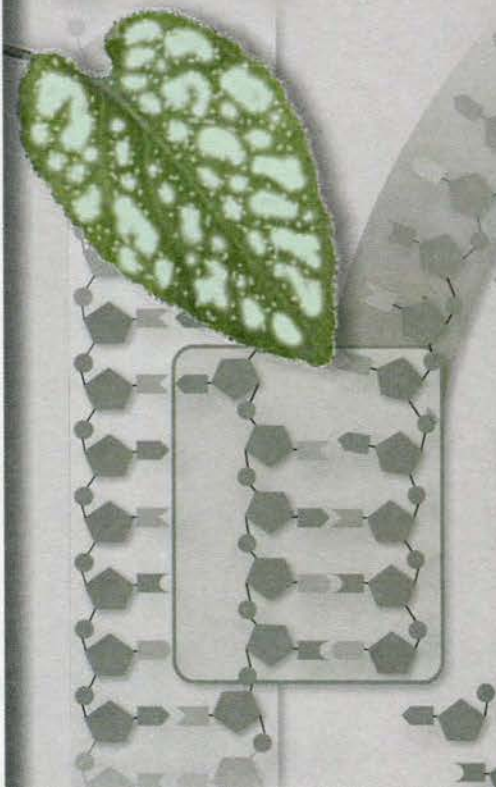
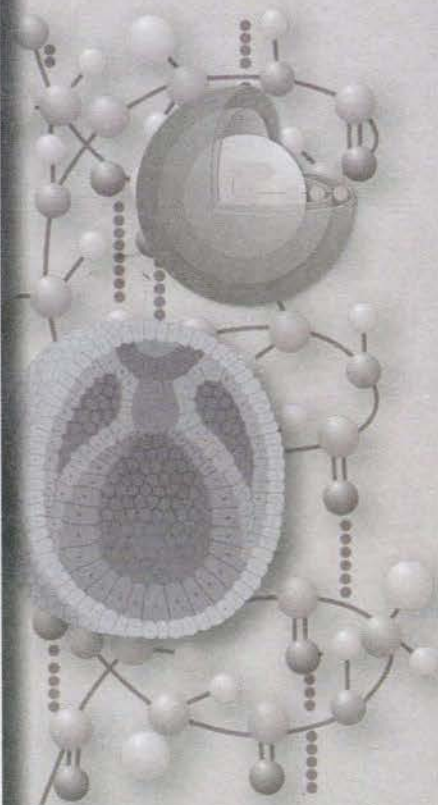
Работаем с учебником ..... 5

## Глава I. СТРОЕНИЕ И ФУНКЦИИ КЛЕТКИ. РАЗМНОЖЕНИЕ И РАЗВИТИЕ

1.	Почему важно изучать общую биологию	8
2.	Неорганические вещества клетки	10
3.	Органические вещества клетки. Углеводы. Липиды	12
4.	Белки: строение и функции	14
5.	Нуклеиновые кислоты. Аденозинтрифосфорная кислота	18
6.	Клеточная теория	20
7.	Строение клеток эукариот. Цитоплазма. Плазматическая мембрана	22
8.	Вакуолярная и опорно-двигательная системы клетки	24
9.	Пластиды и митохондрии. Рибосомы	26
10.	Энергетическое обеспечение клетки	28
11.	Строение и функции клеточного ядра	30
12.	Деление клетки. Митоз. Мейоз	32
13.	Способы размножения организмов	34
14.	Образование половых клеток. Оплодотворение	36
15.	Индивидуальное развитие организма (онтогенез)	38
16.	Особенности строения и жизнедеятельности прокариот	40
17.	Вирусы	42
	Подведём итоги	44

## Глава II. ОСНОВНЫЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ НАСЛЕДСТВЕННОСТИ

18.	<a href="http://kurokam.ru">http://kurokam.ru</a> Закономерности наследственности. Первый и второй законы Менделя	46
19.	Объяснение законов Менделя с позиций гипотезы чистоты гамет	48
20.	Дигибридное скрещивание. Третий закон Менделя	50
21.	Хромосомная теория наследственности. Цитологическое обоснование законов Менделя	52
22.	Сцепленное наследование генов	54
23.	Хромосомное определение пола. Наследование, сцепленное с полом	56
24.	Взаимодействие генов. Цитоплазматическая наследственность	58
25.	Молекулярная природа гена. Удвоение ДНК. Транскрипция	60
26.	Генетический код. Биосинтез белков	62
27.	Молекулярная теория гена. Генная инженерия	66
	Подведём итоги	68



### Глава III. ОСНОВНЫЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ ИЗМЕНЧИВОСТИ. СЕЛЕКЦИЯ

28.	Наследственная изменчивость. Типы мутаций .....	70
29.	Закон гомологических рядов в наследственной изменчивости .....	72
30.	Методы изучения наследственной изменчивости человека .....	74
31.	Модификационная изменчивость .....	76
32.	Генетика и селекция. Искусственный отбор. Центры происхождения культурных растений .....	78
33.	Селекция растений .....	80
34.	Селекция животных и микроорганизмов .....	82
	Подведём итоги .....	84

### Глава IV. ЗАКОНОМЕРНОСТИ МИКРО- И МАКРОЭВОЛЮЦИИ

35.	Из истории развития эволюционной теории .....	86
36.	Микроэволюция. Популяция как эволюционная структура .....	88
37.	Факторы-поставщики материала для эволюции. Изоляция .....	90
38.	Естественный отбор и его результаты .....	92
39.	Макроэволюция: законы и закономерности .....	94
40.	Палеонтология и эволюция .....	96
41.	Биогеографические доказательства эволюции .....	98
42.	Основные направления и пути эволюционного процесса .....	100
43.	Направленность и предсказуемость эволюции .....	102
44.	Антидарвиновские концепции эволюции .....	104
	Подведём итоги .....	106

### Глава V. ПРОИСХОЖДЕНИЕ И ИСТОРИЧЕСКОЕ РАЗВИТИЕ ЖИЗНИ НА ЗЕМЛЕ. МЕСТО ЧЕЛОВЕКА В БИОСФЕРЕ

45.	Сущность жизни .....	108
46.	Абиогенез: возникновение жизни — результат развития неживой природы .....	110
47.	Живое только от живого — теория биогенеза .....	112
48.	Развитие жизни на Земле. Криптозой. Ранний палеозой .....	114
49.	Развитие жизни в позднем палеозое .....	116
50.	Развитие жизни в мезозое и кайнозое .....	118
51.	Взаимодействие общества и природы .....	120
52.	Деятельность современного человека как экологический фактор .....	122
53.	Козволюция природы и общества .....	124
	Подведём итоги .....	126
	Заключение .....	127

## РАБОТАЕМ С УЧЕБНИКОМ

Раздел общей биологии изучает основные закономерности, проявляющиеся на разных уровнях организации живой природы. Его изучение поможет вам решать познавательные, практические, экологические, социально-этические проблемы, с которыми вы можете столкнуться в повседневной жизни.

В основу курса положен культурно-исторический подход. Он предполагает рассмотрение современных обобщений в области биологии клетки, генетики, эволюционного учения, социальной экологии с исторических позиций: персонификации идей, характеристики выдающихся открытий, построения содержания на основе движения научных проблем от классических теорий к современным.

Известно, что положения науки безразличны к нравственным ценностям, знания могут служить как созиданию, так и разрушению. Поэтому важный компонент содержания раздела — ценностный. Учебник поможет вам приобрести опыт эмоционально-ценностного отношения к природе, другим людям, правильно ориентироваться в личных проблемах. С целью приобщения к ценностям и нормам науки авторы отходят от сложившейся традиции изучать только те научные построения, которые согласуются с господствующей научной парадигмой, и включают альтернативные идеи и подходы. Изучение проблемы происхождения жизни, эволюционного учения строится в форме диалога. Это позволит вам выработать собственное мнение и позицию в отношении предмета обсуждения, сформировать терпимость к инакомыслию, способность к эмпатии.

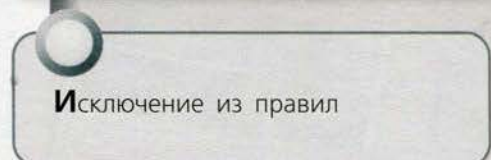
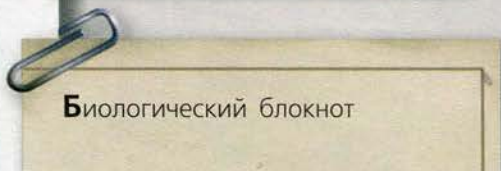
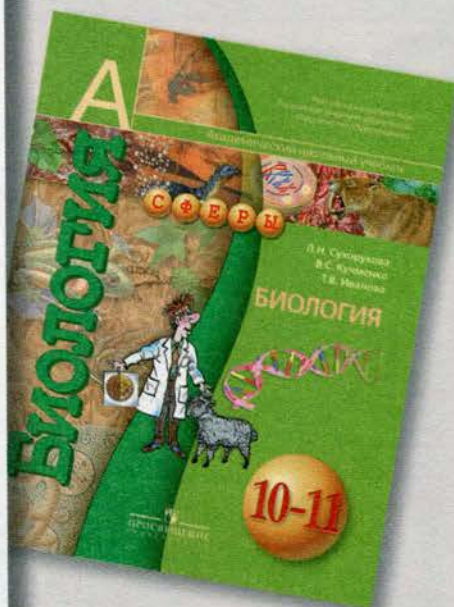
Раздел общей биологии служит логическим продолжением раздела «Живые системы и экосистемы» 9 класса, их содержание не дублируется.


Учебник состоит из пяти глав. Темы разделены на развороты. Каждый разворот начинается с рубрик «Вы узнаете...», «Вспомните...», вводного текста, выражающего его главную идею. Основной текст параграфа сопровождают рубрики «Мои биологические исследования», «Биологический блокнот», «Исключение из правил», «Имена в биологии».

При выполнении заданий рубрики «Мои биологические исследования» вы научитесь получать знания из различных источников информации, проводить наблюдения за объектами природы, ставить несложные опыты.

Рубрика «Биологический блокнот» содержит интересные фактические данные, высказывания известных учёных и другую дополнительную информацию.

Из рубрики «Исключение из правил» вы узнаете, что организация и эволюция живой природы хранят в себе множество фактов, которые противоречат известным законам и положениям и ждут своего объяснения.




**БИОФОКУС**

В рубрике «Имена в биологии» представлены сведения об учёных, которым принадлежат выдающиеся открытия в области биологии.

В основном тексте параграфа часто присутствует рубрика «Биофокус», задача которой — конкретизировать текст интересными примерами, выделять положения законов и теорий.

После каждой темы следуют рубрики «Подведём итоги», в которой даются краткие выводы, отражающие основные идеи темы, и «Вопросы для обсуждения», которая позволит обратиться к дискуссии как основному методу развития научного познания.

Комплект по биологии состоит из учебника с электронным приложением и следующих пособий: тетрадь-тренажёр, тетрадь-практикум, тетрадь-экзаменатор. К тексту разворотов учебника в электронном приложении можно просмотреть и изучить дополнительную информацию в виде различных медиаобъектов: рисунков, анимаций, хрестоматий, 3D-моделей и т.д., что значительно расширит и углубит материал учебника.

Комплексная работа со всем учебным комплектом обеспечит качественное усвоение материала.

**Желаем вам успеха!**



## ГЛАВА I

# СТРОЕНИЕ И ФУНКЦИИ КЛЕТКИ. РАЗМНОЖЕНИЕ И РАЗВИТИЕ



**З**нания о клетке как элементарной живой системе составляют фундамент биологической науки. Это объясняется тем, что строение и процессы жизнедеятельности, происходящие в клетке, определяют функционирование и развитие живых систем всех уровней организации живой природы. Знания о биологии клетки — основа развития клеточной и генной технологий.



**ВЫ УЗНАЕТЕ:**

● Почему каждому человеку независимо от его профессии важно знать общебиологические закономерности.

**ВСПОМНИТЕ:**

- Что изучает биология?
- С основами каких биологических наук вы знакомы?

Яйцеклетка человека имеет в среднем диаметр 150 мкм, вес 0,00015 мг. И в этом микроскопическом образовании содержится всё, что передаётся по наследству от матери будущему ребёнку.

До недавнего времени лишь в воображении фантастов могли существовать клетки бактерий, включающие в себя гены, ответственные за синтез человеческого белка, который затем используется как лекарственный препарат. Невероятным казалось установление диагноза у человека задолго до проявления болезни или ещё до рождения ребёнка.

## ПОЧЕМУ ВАЖНО ИЗУЧАТЬ ОБЩУЮ БИОЛОГИЮ

**В**ы начинаете изучение той части школьной биологии, которую называют общей биологией. Она включает фундаментальные разделы, которые исследуют наиболее общие и универсальные закономерности живого.

**ЗНАЧЕНИЕ ЗНАНИЙ ПО ГЕНЕТИКЕ И ЦИТОЛОГИИ** Новая жизнь начинается со слияния двух половых клеток — отцовской и материнской. В этих клетках заключена генетическая информация, обеспечивающая преемственность в ряду поколений и существование видов в природе. Клетки — основа строения и функционирования многоклеточного организма, из них состоят ткани и органы. Наука о клетке — **цитология** служит основой **гистологии** — науки о тканях и **эмбриологии** — науки о зародышевом развитии организмов. В свою очередь, цитология опирается на знания **биохимии** — науки о химическом составе живой материи и процессах, происходящих в живых организмах.

Без проникновения в тайны структурной и функциональной единицы живого — клетки — невозможно развитие **генетики** — науки о наследственности и изменчивости организмов. Современная генетика решила немало проблем, относящихся как к фундаментальной науке, так и к прикладным дисциплинам (биотехнологии, медицине). Например, дородовая диагностика многих наследственных болезней широко применяется в практической медицине.

Генетика позволяет отвечать на вопросы, волнующие каждого из нас: «Почему дети похожи на родителей?», «Как наследуются цвет глаз, группа крови?», «Передаются ли по наследству музыкальные и художественные способности?».

**ЗАЧЕМ ИЗУЧАТЬ ЭКОЛОГИЮ** Генетика — основа понимания закономерностей **экологии** — науки о взаимоотношениях организмов между собой и с окружающей средой. Ведущую роль в экологии играет учение об экосистеме. Оно позволило взглянуть на растения, животных, почву, воду,

воздух как элементы единого природного механизма, каждая связь которого прошла проверку временем в процессе эволюции. Потеря любого элемента (вида) может отразиться на судьбе всей биосферы.



Видовое разнообразие нашей планеты в результате хозяйственной деятельности человека сокращается возрастающими темпами. Исчезновение видов необратимо. Можно очистить загрязнённую воду, посадить новое дерево. Но нельзя вернуть к жизни вид, если исчезли последние его представители. Человечеству предстоит разработать грандиозный план сохранения разнообразия видов. Для этого необходимо знать закономерности взаимодействия человеческого общества и природы — **социальную экологию**.

#### ЗНАЧЕНИЕ ЗНАНИЙ О ЗАКОНОМЕРНОСТЯХ ЭВОЛЮЦИИ

Генетика и экология тесно связаны с **эволюционной биологией** — наукой о факторах, направлениях и результатах эволюции.

В 50-е гг. XX в. стали широко использоваться химические средства защиты культурных растений от насекомых-вредителей. В первые годы ядохимикаты действовали успешно. Затем у насекомых возникла нечувствительность к ним, так как в процессе эволюции у организмов формируются приспособления к изменяющимся условиям среды обитания. Таким образом, человеку в практической деятельности важно учитывать закономерности эволюции.

Знание закономерностей эволюции позволяет не только понять значение многих связей в природе, но и решать проблему обеспечения человечества продуктами питания.

Уже древние земледельцы и скотоводы бессознательно использовали принцип отбора, оставляя для размножения особей, которые обладали нужными им признаками. В результате человек получил культурные растения и домашних животных. Это произошло благодаря практическому применению закономерностей эволюции, по которым формируются новые признаки и образуются новые виды. Современные селекционеры владеют знаниями о закономерностях эволюции и осознанно их применяют. Это позволяет им достигать удивительных результатов.

Актуальная проблема современности — возвращение к жизни земель, занятых промышленными отвалами. Какие растения и животные могут прижиться на отравленных и засоленных землях и подготовить почву для более требовательных видов? На этот и другие вопросы также позволяет найти ответы экология.

Живой мир изучен недостаточно. Описание новых видов происходит до сих пор, и некоторые из них могут исчезнуть ещё до своего открытия. В 1990 г. на небольшом островке около Южной Америки был обнаружен новый вид тамаринов (семейство Игрунковые отряда Приматы). Их численность составляет всего несколько десятков особей. Этот вид нуждается в особой строгой охране.



#### ВОПРОСЫ:

- Основы каких наук изучает общая биология?
- Почему необходимо изучать положения цитологии и законы генетики?
- Может ли знание законов экологии и эволюции повлиять на формирование нравственного отношения человека к природе?
- Знания из каких биологических наук вы применяете в повседневной жизни? Приведите примеры.

**ВЫ УЗНАЕТЕ:**

- О значении микро- и макроэлементов в клетке.
- Почему значительную часть клетки составляет вода.

**ВСПОМНИТЕ:**

- Чем органические вещества отличаются от неорганических?
- Что называют катионами и анионами?
- Как молекулярное строение воды связано с её химическими и физическими свойствами?
- Типы химических связей.

**К** макроэлементам относят кислород, водород, углерод, азот, фосфор, серу, натрий, калий, кальций, хлор. К микроэлементам — железо, цинк, марганец, кобальт, медь, никель, иод, фтор и др. Содержание в клетках золота, ртути, селена, радия и других элементов не превышает  $10^{-12}\%$ . Это ультрамикроэлементы.

<http://kurokam.ru>

Содержание микро- и макроэлементов в продуктах питания важно учитывать при составлении пищевого рациона, определении норм рационального питания. Продукты должны содержать все необходимые человеческому организму элементы.

Некоторые соли содержатся в клетках не только в растворённом, но и в твёрдом состоянии. Например, кости формируются в основном из фосфата кальция, а раковины моллюсков — из карбоната кальция.

## НЕОРГАНИЧЕСКИЕ ВЕЩЕСТВА КЛЕТКИ

**В** составе клеток живых организмов обнаружено 80 из 110 элементов периодической системы Д.И. Менделеева. При этом каких-либо особых, присущих только живой материи элементов клетка не содержит. Это говорит о единстве живой и неживой природы.

**МАКРО- И МИКРОЭЛЕМЕНТЫ**

Все химические элементы в зависимости от их концентрации в клетке принято разделять на макроэлементы и микроэлементы. Макроэлементы содержатся в больших количествах (от десятков до сотых долей процента). При этом на долю биогенных элементов — кислорода, углерода, водорода и азота — приходится почти 98% сухой массы клеток. Содержание микроэлементов не превышает сотых долей процента, однако они входят в состав различных соединений и потому необходимы для нормальной жизнедеятельности клетки и организма. При недостатке микроэлементов нарушается синтез важнейших соединений: хлорофилла, гемоглобина, некоторых гормонов.

**НЕОРГАНИЧЕСКИЕ СОЕДИНЕНИЯ КЛЕТКИ**

Многие химические элементы входят в состав неорганических веществ клетки — минеральных солей. Без них не сможет существовать ни один живой организм. Минеральные соли находятся в клетке, как правило, в виде катионов ( $K^+$ ,  $Na^+$ ,  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$ ) и анионов ( $HPO_4^{2-}$ ,  $H_2PO_4^-$ ,  $Cl^-$ ,  $HCO_3^-$ ). Их соотношение определяет pH внутренней среды. Оно поддерживается на постоянном уровне, хотя в ходе обмена веществ в клетке образуются и кислоты, и щёлочи.

Концентрация многих катионов различна внутри клетки и в окружающей её среде. Так, концентрация  $K^+$  в клетке более высокая, чем  $Na^+$  и  $Ca^{2+}$ . От концентрации солей зависит поступление воды в клетку. Так, вода будет поступать в корни растений в том случае, если концентрация ионов в клетках выше, чем в почвенном растворе.

**ВОДА**

Из неорганических соединений в клетке преобладает вода. Молекула воды полярна. В результате отрицательно заряженный атом кисло-

рода одной молекулы воды притягивается к положительно заряженному атому водорода другой молекулы с образованием **водородной связи**. Водородные связи в 20 раз слабее связей внутри самих молекул. Они легко разрываются и образуются вновь, благодаря чему вода легко передвигается в клетке.



Наличием водородных связей между молекулами объясняется высокая теплоёмкость воды — способность поглощать тепло при минимальном изменении собственной температуры. Вот почему вода в водоёме под действием солнца нагревается в 5 раз слабее, чем песок на берегу, но дольше сохраняет тепло. Высокая теплоёмкость воды защищает организмы от резких перепадов температуры окружающей среды. Испарение воды всегда сопровождается охлаждением клеток и тканей. В результате обеспечивается защита организмов от перегрева при транспирации у растений, тепловой отдышке у животных и потоотделении у человека.

Благодаря полярности молекул вода — прекрасный растворитель, она взаимодействует с катионами и анионами веществ. Вода служит средой, где протекают основные процессы жизнедеятельности клетки. Она участвует во многих реакциях обмена веществ, например в реакциях гидролиза — расщепления белков, углеводов и других органических веществ с участием ферментов.

Вещества, которые взаимодействуют с водой, называют **гидрофильными** (греч. *hydor* — вода, *phileō* — любить). Это минеральные соли, сахара, аминокислоты, некоторые спирты. Вещества, которые не взаимодействуют с водой, называют **гидрофобными** (греч. *hydor* — вода, *phobos* — боязнь), например жиры.

Обладая подвижностью, низкой вязкостью и способностью растворять различные соединения, вода выполняет в организме транспортную функцию. Растворённые в воде вещества поступают в клетку через мембрану. У организмов, имеющих сложное строение, перенос веществ осуществляют специальные системы: проводящая — у растений, кровеносная и лимфатическая — у животных.



1.1. Строение молекулы воды и образование водородных связей между молекулами

В клетках мозга и эмбрионов человека воды более 80%; в клетках жировой ткани — всего 40%. Потеря 20% воды организмом приводит к его гибели. Постепенное снижение содержания воды в клетках происходит с возрастом, поэтому у пожилых людей кожа теряет свою эластичность и упругость, на ней появляются морщины.

### ВОПРОСЫ:

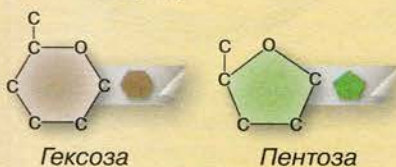
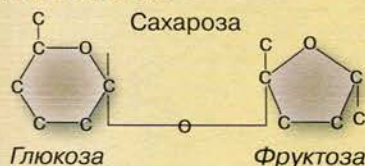
- Что понимают под микро- и макроэлементами?
- Почему кислород, водород, углерод и азот называют биогенными элементами?
- Может ли клетка обходиться без минеральных солей? Ответ поясните.
- Как строение молекулы воды связано с функциями, которые она выполняет в клетке?

**ВЫ УЗНАЕТЕ:**

- Почему основу живой материи составляют атомы углерода.
- О разнообразии и значении углеводов и липидов.
- Почему некоторые углеводы называют пентозами и гексозами.

**ВСПОМНИТЕ:**

- Каково значение углеводов и жиров в обмене веществ?

**1.2. Строение углеводов****Моносахариды****Дисахариды****Полисахариды**

Крахмал

Гликоген

Самые распространённые полисахариды — целлюлоза (или клетчатка) и хитин. Ежегодно растения синтезируют  $10^4$ – $10^5$  т целлюлозы.

**ОРГАНИЧЕСКИЕ ВЕЩЕСТВА КЛЕТКИ. УГЛЕВОДЫ. ЛИПИДЫ**

**В** состав клеток входят не только неорганические, но и органические вещества: углеводы, липиды, белки, нуклеиновые кислоты, АТФ. Основа их молекул — атомы углерода.

**БИОЛОГИЧЕСКИЕ ПОЛИМЕРЫ** Атомы углерода взаимодействуют с металлами и неметаллами, легко образуют друг с другом ковалентные связи, в результате создаются каркасы разнообразных органических молекул. В зависимости от молекулярной массы и строения различают **мономеры** — низкомолекулярные соединения и **биополимеры** — высокомолекулярные соединения. Мономеры служат строительными блоками для биополимеров, которые представляют собой длинные линейные или разветвлённые цепи, состоящие из большого числа звеньев. Мономеры могут быть одинаковыми или разными.

**УГЛЕВОДЫ** В состав молекул углеводов входят углерод, водород и кислород. Углеводы содержатся в клетках животных, растений, грибов, но в растительных клетках их значительно больше.

Существуют простые и сложные углеводы. Простые — **моносахариды** — различаются по числу атомов углерода в молекуле. Наиболее широко в природе распространены гексозы (глюкоза, фруктоза) и пентозы (рибоза и дезоксирибоза). Сложные углеводы построены из нескольких молекул моносахаридов. Из двух моносахаридов образуется **дисахарид**. **Полисахариды** — биологические полимеры. Они содержат от 10 до нескольких тысяч остатков моносахаридов, соединённых в длинные цепи, линейные или разветвлённые.

Молекулы моносахаридов играют структурную роль, служат строительными блоками, из которых создаются более сложные соединения. Так, рибоза и дезоксирибоза входят в состав молекул нуклеиновых кислот. Из изомеров глюкозы построены молекулы крахмала, гликогена, целлюлозы. Полисахариды выполняют функцию опорного материала, входят в состав оболочек растительных и грибных клеток. Однако основная функция углеводов — энергетическая и запасаящая.



Глюкоза — основной источник энергии в клетке — образуется в ходе фотосинтеза. При её окислении в процессе дыхания освобождается энергия, которая расходуется в организме на процессы жизнедеятельности. В растениях из глюкозы синтезируется крахмал. Он используется как запасное питательное вещество. Животные получают углеводы с пищей. В пищеварительном тракте крахмал расщепляется до глюкозы, её избыток откладывается в запас в форме гликогена.

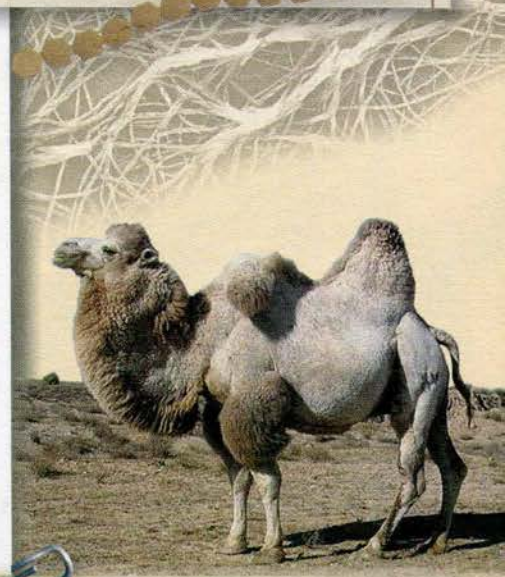
**ЛИПИДЫ** Обязательный компонент всех клеток — липиды (греч. *lipos* — жир). Это разнообразные по строению молекул нерастворимые в воде соединения. К липидам относят жиры и жироподобные вещества, например **фосфолипиды** и **воски**. Жиры — самые распространённые соединения из группы липидов. Они выполняют энергетическую функцию. При окислении жиров выделяется в 2 раза больше энергии, чем при окислении такого же количества углеводов. Жиры служат запасными питательными веществами. Они могут накапливаться в клетках растений. У позвоночных животных жир откладывается в подкожной клетчатке. При этом он выполняет роль терморегулятора, защищая организм от переохлаждения.



В семенах и плодах многих растений жиры содержатся в виде капель масла. Подсолнечник, рапс, лён, маслина используются для получения растительных масел промышленным способом. Специализированные жировые клетки животных содержат до 90 % жира. Особенно велико значение подкожного жира для водных млекопитающих, например для китов, моржей, тюленей. У них он обеспечивает ещё одну функцию — способствует плавучести. При окислении жиров образуется вода, поэтому некоторые животные, запасаящие жиры, могут длительное время обходиться без воды.

Воски создают водоотталкивающее покрытие на поверхности листьев и плодов у растений, кожи, перьев и шерсти у животных. Фосфолипиды составляют основу всех клеточных мембран.

В состав одной макромолекулы крахмала входит от нескольких сотен до нескольких тысяч звеньев глюкозы, а в состав молекулы целлюлозы — свыше 10 000. Целлюлоза образует волокна, которые придают растению жёсткость и прочность. Так, волокно целлюлозы прочнее, чем стальная проволока того же диаметра.



Верблюды во время переходов по пустыне могут обходиться без воды 10–12 дней, теряя при этом до 25 % массы тела. Эти выносливые мощные животные, одомашненные более 5000 лет назад, живут 35–40 лет.

### ВОПРОСЫ:

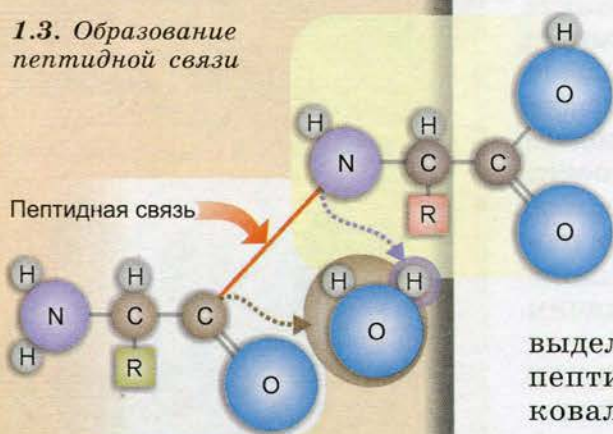
- Сравните мономеры и биополимеры. В чём заключаются сходство и различия этих соединений?
- Приведите примеры поли-, ди- и моносахаридов.
- Каково значение углеводов в клетке?
- Какие функции выполняют липиды и жиры?

**ВЫ УЗНАЕТЕ:**

- Почему клетки содержат такое разнообразие белков.
- О сложной организации белков и об их важнейших функциях.

**ВСПОМНИТЕ:**

- Какие аминокислоты называют незаменимыми?

**1.3. Образование пептидной связи**

Синтез белка в живой клетке протекает с большой скоростью. Например, белок, состоящий из 100 аминокислотных остатков, синтезируется всего за 5 секунд. В искусственных условиях синтез белка требует длительного времени.

**БЕЛКИ: СТРОЕНИЕ И ФУНКЦИИ**

**Б**елки определяют особенности любой живой клетки. Разнообразие белков в живом организме достигает нескольких тысяч. Вместе с тем каждый белок уникален.

**АМИНОКИСЛОТЫ – МОНОМЕРЫ БЕЛКОВ** Все белки имеют единый принцип строения. Это биологические полимеры, состоящие из мономеров — остатков аминокислот. В состав аминокислот входят углерод, водород, кислород, азот. В некоторых также содержатся сера, фосфор, железо. Каждая аминокислота имеет карбоксильную группу ( $-\text{COOH}$ ), аминогруппу ( $-\text{NH}_2$ ) и радикал ( $\text{R}-$ ), отличный от радикалов других аминокислот. Аминогруппа одной аминокислоты взаимодействует с карбоксильной группой другой. В результате взаимодействия выделяется молекула воды и образуется прочная пептидная связь, являющаяся разновидностью ковалентной связи. При соединении большого числа аминокислот формируется полипептид. Все белки — полипептиды, имеющие значительную молекулярную массу, они представляют собой макромолекулы (греч. *makros* — гигантский).

Белки, состоящие только из аминокислот, называют **простыми** или **протеинами** (греч. *prōtos* — первый, главный). К ним относят многие ферменты. **Сложные** белки, или **протеиды**, помимо аминокислот, содержат небелковые компоненты, например углеводы, жиры, ДНК, атомы металлов (Fe, Mg, Cu, Zn, Mn, V, Mo и др.). Их соответственно называют гликопротеидами, липопротеидами, нуклеопротеидами, металлопротеидами.

В природе существует огромное разнообразие белков, индивидуальность которых определяется последовательностью составляющих их аминокислот. Подобно тому как из букв алфавита можно составить большое число слов, так из 20 аминокислот составляется множество белков. Все они различаются по числу аминокислотных остатков и их последовательности в полипептидной цепи.

### СТРУКТУРА МОЛЕКУЛЫ БЕЛКА

Для белков характерно четыре уровня структурной организации. Цепь из аминокислот, объединённых пептидными связями, образует **первичную структуру** молекулы белка.

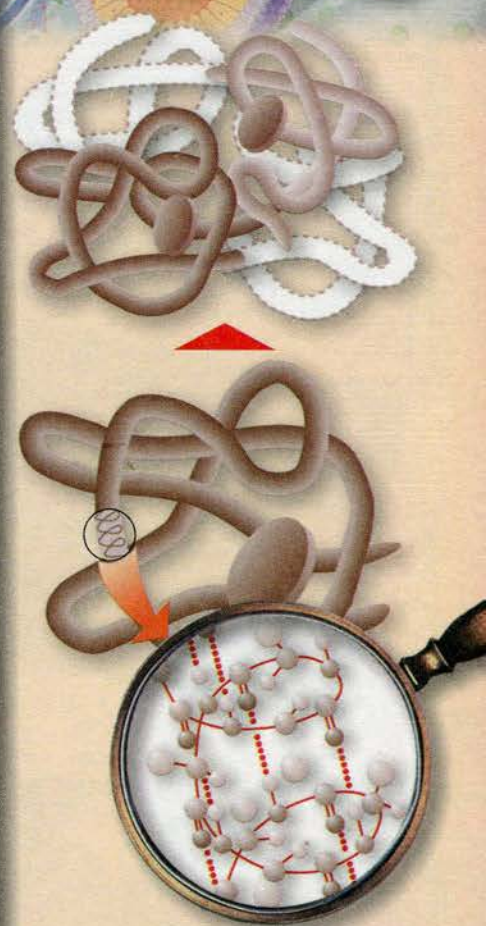
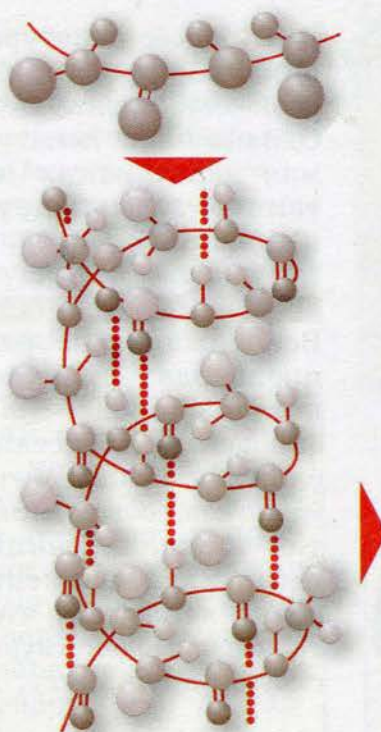
**Вторичная структура** большинства белков представляет собой плотно закрученную спираль. Она формируется водородными связями между  $-CO-$  и  $-NH-$  группами аминокислотных остатков полипептидной цепи, расположенными на соседних витках спирали.

**Третичная структура** белков является результатом сложной трёхмерной укладки в пространстве полипептидной цепи. Третичная структура поддерживается различными связями и взаимодействиями, возникающими между радикалами аминокислот. Все ферменты, антитела и другие белки, выполняющие важные биологические функции в организме, имеют глобулярное строение. Некоторые структурные и двигательные белки имеют вид волокон, объединённых в пучки, например белок коллаген, составляющий основу сухожилий, связок, хрящей.

Для некоторых белков характерна **четвертичная структура**. Она возникает при объединении между собой отдельных белковых глобул. Например, белок крови гемоглобин представляет собой комплекс из четырёх белковых макромолекул.

### ПРОЦЕСС ДЕНАТУРАЦИИ БЕЛКА

Связи, которые поддерживают в пространстве вторичную, третичную и четвертичную структуры белка, значительно слабее связей, формирующих первичную структуру, и легко разрываются. При воздействии на белки внешних факторов (изменения температуры, кислотности среды и др.) пространственная структура молекул разрушается и происходит их **денатурация** (лат. *de* — движение вниз, понижение, лат. *natura* — природные свойства, сущность).



1.4. Структуры белковых молекул



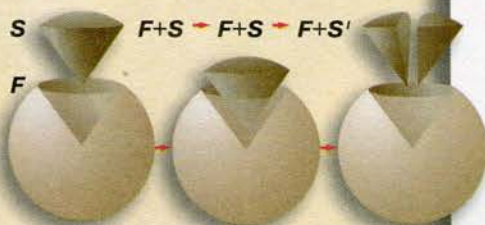
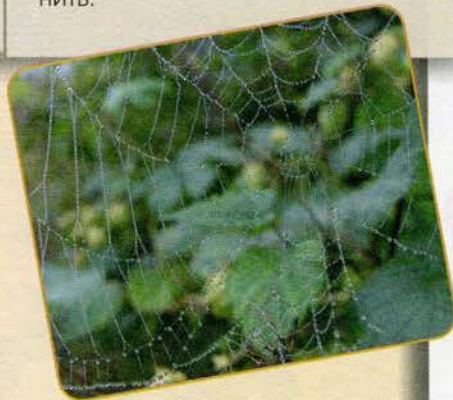
Сэнгер Фредерик  
р. 1918

Английский биохимик, разработал методы исследования первичной структуры белка, установил химическое строение инсулина. Лауреат Нобелевских премий по химии (1958, 1980).



<http://kurokam.ru>

Паутинные железы паука содержат жидкий белок. При выделении капельки секрета паук прикрепляет его к опоре, а затем слегка натягивает. В результате полимеризации белок становится нерастворимым и эластичным, превращаясь в паутинную нить.



1.5. Строение комплекса фермент-субстрат

При изменении условий меняется структура фермента и он теряет способность взаимодействовать с субстратом. Например, оптимальные значения pH для пепсина (содержится в желудочном соке и катализирует распад молекул белка на крупные блоки) — 1,5–2,5 (кислая среда). Для трипсина (вырабатывается поджелудочной железой и обеспечивает распад крупных белковых блоков на более мелкие фрагменты) — 7,8 (щелочная среда).

Процесс денатурации при определённых условиях обратим, и белок способен восстановить свою естественную структуру — **ренатурировать**. Однако чаще денатурация необратима. Необратимая денатурация происходит из-за повышения температуры и других значительных внешних воздействий.

#### ФЕРМЕНТАТИВНАЯ (КАТАЛИТИЧЕСКАЯ) ФУНКЦИЯ БЕЛКОВ

Все химические реакции в живых организмах происходят при участии особых биологических катализаторов — **ферментов** (лат. *fermentum* — закваска), представляющих собой простые или сложные белки. Ферменты ускоряют реакции обмена веществ в миллионы раз. Они специфичны, т.е. каждая реакция, протекающая в клетке, имеет свой фермент. Специфичность ферментов объясняется тем, что структуры молекул фермента и взаимодействующего с ним вещества соответствуют друг другу, подходят как ключ к замку.



В настоящее время обнаружено свыше 2000 ферментов. Эффективность их действия во много раз выше, чем неорганических катализаторов, используемых в промышленном производстве. Так, 1 мг железа в составе фермента каталазы заменяет 10 г железа неорганического происхождения. Каталаза увеличивает скорость разложения пероксида водорода в  $10^{11}$  раз.

Каждый фермент функционирует лишь при определённой температуре, концентрации и кислотности среды, и тогда его активность максимальна. Резкое изменение условий приводит к нарушению структуры фермента и потере его активности.

#### ЗАЩИТНАЯ, РЕЦЕПТОРНАЯ, РЕГУЛЯТОРНАЯ, ТРАНСПОРТНАЯ ФУНКЦИИ БЕЛКОВ

В ответ на проникновение различных генетически чужеродных объектов — антигенов (вирусов, бактерий, опухолевых клеток) в организме вырабатываются особые белки — антитела. Они связывают антигены и обезвреживают их. При этом каждый вид антител способен нейтрализовать строго определённый антиген. В этом заключается защитная функция белков в живых организмах. Она лежит в основе иммунитета.

<http://kurokam.ru>

Антитела распознают антигены, а клетки, принадлежащие к одному типу, узнают друг друга и объединяются в ткани благодаря рецепторной функции белков. Белки-рецепторы находятся на поверхности клеточных мембран.

Многие гормоны — химические регуляторы процессов роста и развития организма — белки. Например, белок инсулин регулирует содержание сахара в крови. При его недостатке у человека развивается болезнь — сахарный диабет.



Все виды движений обеспечиваются особыми белками, которые вызывают сокращение мускулатуры животных, движение жгутиков и ресничек у простейших, перемещение хромосом при делении клетки. Особые транспортные белки мембран обеспечивают поступление веществ в клетки. Белок крови гемоглобин образует в лёгких непрочное соединение с кислородом и доставляет его от органов дыхания к тканям, а от них — углекислый газ к лёгким.

#### СТРОИТЕЛЬНАЯ И ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ ФУНКЦИИ БЕЛКОВ

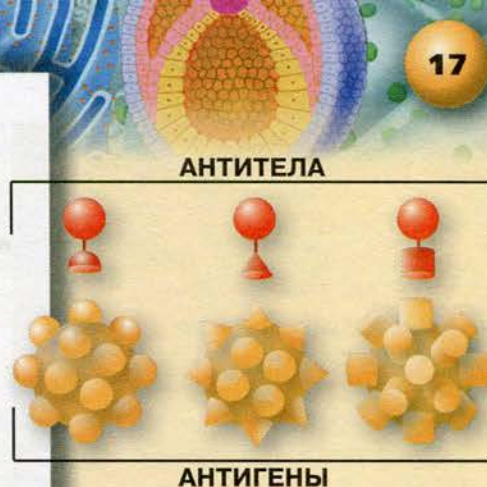
Белки входят в состав клеточных мембран и органоидов клетки. В комплексе с ДНК они составляют тело хромосом, а в комплексе с РНК — рибосом. Белки пронизывают цитоплазму клеток, поддерживая её структуру. Из белков состоят волосы, шерсть, ногти, рога, копыта, чешуя, перья, паутина.

При недостатке полисахаридов и липидов белки могут использоваться клеткой в качестве источника энергии. При этом количество освобождённой энергии примерно такое же, как и при окислении углеводов.

Некоторые белки выполняют запасующую функцию, накапливаясь, например, в клетках семян растений.



Белки — один из основных элементов питания человека и животных. При их недостатке в пище возникают тяжёлые нарушения азотистого обмена в организме. Белки в клетках живых организмов постоянно обновляются, что лежит в основе обмена веществ.



**1.6. Рецепторная функция белков:**  
связь антиген-антитело

Для каждого вида живых организмов характерны определённые белки, одинаковые у всех представителей данного вида. Вместе с тем у разных видов один и тот же белок неодинаков. Например, гемоглобин лошади отличается от гемоглобина собаки или человека.

#### ВОПРОСЫ:

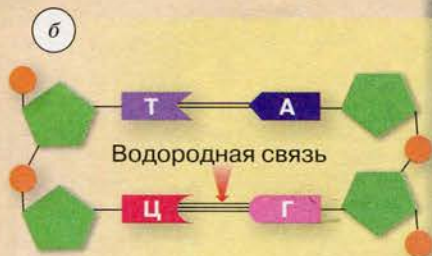
- Чем структура белков как биополимеров отличается от структуры полисахаридов?
- Как образуется пептидная связь?
- Чем третичная структура белка отличается от вторичной и первичной?
- Почему происходит денатурация белка? Как она отражается на его свойствах?
- Каковы функции белков в клетке?

**ВЫ УЗНАЕТЕ:**

- Почему молекула ДНК имеет форму двойной спирали.
- О молекулах, запасующих энергию.

**ВСПОМНИТЕ:**

- Что определяет первичную структуру белков?

**Азотистые основания****Остаток фосфорной кислоты**

1.7. Компоненты нуклеотидов (а); образование связей в молекуле ДНК (б)

Молекулы ДНК очень длинные. Буквенная запись последовательности нуклеотидов в молекулах ДНК из одной клетки человека (46 хромосом) была бы равна книге объёмом около 820 000 страниц.

## НУКЛЕИНОВЫЕ КИСЛОТЫ. АДЕНОЗИНТРИФОСФОРНАЯ КИСЛОТА

Важнейшая особенность живых систем — способность к самовоспроизведению. Вновь образующаяся клетка получает от родительской своеобразную «инструкцию» — генетическую информацию, которая зашифрована в структуре дезоксирибонуклеиновой кислоты (ДНК) и реализуется посредством рибонуклеиновой (РНК).

**ДЕЗОКСИРИБОНУКЛЕИНОВАЯ КИСЛОТА (ДНК)** Молекула ДНК — биополимер, представляющий собой длинную двойную цепь, спирально закрученную вокруг продольной оси. Мономеры ДНК — **нуклеотиды**. В состав каждого нуклеотида входят три компонента. Два из них — моносахарид дезоксирибоза и остаток фосфорной кислоты — одинаковы во всех нуклеотидах ДНК. Третий компонент — азотистое основание — у нуклеотидов различен и представлен четырьмя вариантами. По азотистому основанию даётся название нуклеотиду.

Нуклеотиды соединяются в цепь химической связью, возникающей между остатком фосфорной кислоты одного нуклеотида и моносахаридом другого. Две цепи ДНК объединены в одну молекулу через азотистые основания водородными связями. При этом пары нуклеотидов строго соответствуют друг другу: аденин соединяется только с тиминном, а гуанин — с цитозинном (А = Т, Г ≡ Ц). Такое пространственное соответствие взаимодействующих молекул называют **комплементарностью**.

Благодаря различной последовательности расположения нуклеотидов в ДНК в природе существует огромное разнообразие её молекул.



Спираль — самая распространённая форма живой материи во Вселенной — от молекул до галактик. Эта форма исключительно выгодна в тесноте микромира. Отдельные витки спирали ДНК сцеплены друг с другом, как зубцы застёжки-молнии, что обеспечивает компактность укладки молекул и хранение огромного объёма информации о свойствах организма в крошечном ядре клетки.

Последовательность нуклеотидов в одной цепи ДНК определяет последовательность нуклеотидов во второй (комплементарной) цепи. Это свойство лежит в основе самовоспроизведения новых молекул ДНК, что, в свою очередь, обуславливает передачу генетической информации при делении клеток и размножении организмов.

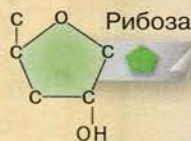
**РИБОНУКЛЕИНОВАЯ КИСЛОТА (РНК)** Как и ДНК, РНК — биополимер, мономеры которого представлены нуклеотидами четырёх типов. Однако в составе компонентов РНК есть некоторые различия. Также молекулы РНК более короткие и представлены одной цепью.



В клетках известны три вида РНК: транспортные (тРНК), информационные (иРНК) и рибосомальные (рРНК).

Все виды РНК принимают участие в реализации наследственной информации, так как обеспечивают синтез белков в клетке. Они содержатся в клеточном ядре, цитоплазме, рибосомах, митохондриях, хлоропластах.

#### Пентоза



#### Азотистые основания



#### Пиримидиновые



#### Остаток фосфорной кислоты



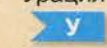
Аденин



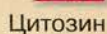
Гуанин



Урацил

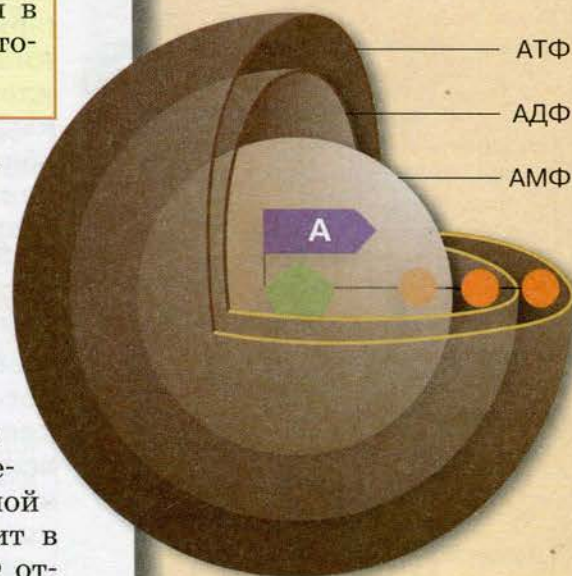


Цитозин



1.8. Компоненты РНК

1.9. Строение АТФ



**АДЕНОЗИНТРИФОСФОРНАЯ КИСЛОТА (АТФ)** Молекула АТФ по строению сходна с адениновым нуклеотидом. Химические связи, с помощью которых присоединяются два остатка фосфорной кислоты в АТФ, называют **макроэргическими** (обозначаются ~). Разрыв этих связей в результате гидролиза сопровождается выделением значительного количества энергии (40 кДж), большего, чем при разрыве других химических связей. При этом от молекулы АТФ отделяется одна молекула фосфорной кислоты и аденозинтрифосфат (АТФ) переходит в аденозиндифосфат (АДФ). При гидролизе АДФ отделяется ещё одна молекула фосфорной кислоты, образуется аденозинмонофосфат (АМФ) и выделяется ещё 40 кДж энергии. Выделившаяся энергия расходуется на различные процессы жизнедеятельности клетки, протекающие с её потреблением.

Молекулы АТФ не только гидролизуются, но и синтезируются. Так, солнечная энергия, преобразуемая в световой фазе фотосинтеза, и энергия, выделяющаяся при биологическом окислении органических веществ, аккумулируется в макроэргических связях молекул АТФ.

#### ВОПРОСЫ:

- Чем обусловлена видовая специфичность нуклеиновых кислот?
- Что такое комплементарность?
- Назовите различия в строении ДНК и РНК.
- Какова роль АТФ в клетке и организме?

**ВЫ УЗНАЕТЕ:**

- Как развивались представления о клетке.
- Что нового в понимании клетки вносит современная клеточная теория.

**ВСПОМНИТЕ:**

- Положения клеточной теории Теодора Шванна.

Первый микроскоп был создан голландскими мастерами ещё в середине XVI в. Большое увеличение в нём обеспечивалось соединением двух линз.

Гук описал клетки бузины, укропа, моркови и других растений. Однако он ошибочно приписывал свойства живого клеточной стенке, а не содержимому клетки.



**Шванн Теодор**  
1810–1882

Немецкий физиолог и гистолог, создатель клеточной теории. Проводил исследования в самых разных областях биологии.

**КЛЕТочная ТЕОРИЯ**

Клеточная теория — исторически первая теория, с которой связано становление биологии как самостоятельной науки. Выделение клеточного уровня вызвало цепную реакцию изучения других систем и уровней организации живой природы.

**ИСТОРИЯ РАЗВИТИЯ ПРЕДСТАВЛЕНИЙ О КЛЕТКЕ** Английский естествоиспытатель Роберт Гук усовершенствовал микроскоп и использовал его для изучения строения растений. Рассматривая строение пробки, Р. Гук обнаружил, что она состоит из мелких ячеек, похожих на соты, для которых он предложил название «клетки» (англ. *cell* — келья, ячейка).

Дальнейший прогресс в изучении клетки был связан с развитием микроскопической техники. Голландский естествоиспытатель Антони Левенгук открыл мир одноклеточных организмов (1680). Он же впервые описал животную клетку (эритроциты крови). Чешский учёный Ян Пуркинье установил, что важнейший компонент клетки — протоплазма, а не клеточная оболочка, как полагал Р. Гук (1830). В протоплазме было обнаружено ядро. Я. Пуркинье описал ядро в яйцеклетке птиц, а Роберт Броун — в клетках растений (1833).

**СОЗДАНИЕ КЛАССИЧЕСКОЙ КЛЕТочной ТЕОРИИ** Немецкие биологи Матиас Шлейден и Теодор Шванн обобщили знания о клетке, ставшие итогом упорного труда многих учёных, и сформулировали клеточную теорию (1838–1839). Её основное положение — *все растительные и животные организмы состоят из клеток, сходных по строению*. Однако Шлейден ошибочно полагал, что клетки образуются из неживого бесструктурного вещества. Немецкий учёный русского происхождения Рудольф Вирхов внёс изменения в клеточную теорию и обосновал принцип преемственности клеток. В результате клеточная теория была дополнена положением: *новая клетка образуется только путём деления исходной клетки*. Российский академик Карл Максимович Бэр открыл яйцеклетку млекопитающих (1828) и дополнил клеточную теорию новым положением: *многоклеточные организмы начинают развитие из одной оплодотворённой клетки — зиготы*.


## СОВРЕМЕННЫЙ ПЕРИОД РАЗВИТИЯ ПРЕДСТАВЛЕНИЙ

**О КЛЕТКЕ** В конце XIX в. световые микроскопы были уже технически совершенны. Развивались методы изготовления микропрепаратов и их окрашивания. Это позволило открыть некоторые компоненты клетки — **органойды**, подробно описать процессы деления клеток.

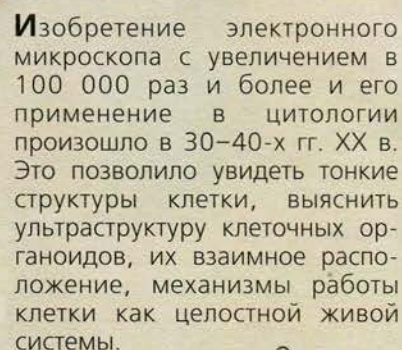
В середине XX в. было установлено, что существует два типа клеточной организации: **прокариотические** и **эукариотические** клетки. Для эукариот характерно наличие ядра, отделённого от цитоплазмы двойной мембраной, и органойдов. В клетках прокариот оформленное ядро и многие органойды отсутствуют. В результате была сформулирована современная клеточная теория, в основе которой лежит идея Т. Шванна о клетке как структурной и функциональной единице живого.

### ПОЛОЖЕНИЯ СОВРЕМЕННОЙ КЛЕТочНОЙ ТЕОРИИ

- Клетка — живая система, единица строения, жизнедеятельности, размножения и индивидуального развития прокариот и эукариот. Вне клетки жизни нет.
- Клетка — сложная целостная система, состоящая из ядра и взаимосвязанных компонентов цитоплазмы — органойдов.
- Клетка может быть самостоятельным организмом и осуществлять все процессы жизнедеятельности. В составе многоклеточного организма клетки играют роль взаимосвязанных элементов, выполняющих определённые функции.
- Клетка — открытая саморегулирующаяся система, связанная с внешней средой обменом веществ и превращениями энергии.
- Клетка способна к самовоспроизведению: новые клетки всегда возникают только путём деления существующих клеток.
- Клетка — единица развития: каждый многоклеточный организм возникает из одной исходной клетки — зиготы.
- Клеточная организация прошла длительный путь эволюции от безъядерных форм (прокариот) к ядерным (эукариотам) — одноклеточным, колониальным, многоклеточным.



**К** эукариотам относят все растения, животных, грибы. К прокариотам — бактерии, цианобактерии и архебактерии.



**И**зобретение электронного микроскопа с увеличением в 100 000 раз и более и его применение в цитологии произошло в 30–40-х гг. XX в. Это позволило увидеть тонкие структуры клетки, выяснить ультраструктуру клеточных органойдов, их взаимное расположение, механизмы работы клетки как целостной живой системы.

### ВОПРОСЫ:

- Как развивались представления о клетке?
- Каков вклад Р. Вирхова в клеточную теорию Т. Шванна?
- Чем прокариоты отличаются от эукариот?
- Какие положения составляют современную клеточную теорию?

**ВЫ УЗНАЕТЕ:**

- О строении и значении клеточной мембраны.
- О свойствах цитоплазмы.

**ВСПОМНИТЕ:**

- Что общего в строении растительных, животных и грибных клеток?

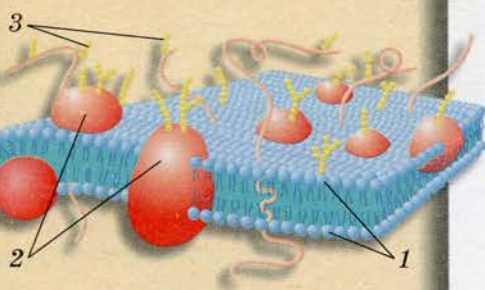
<http://kurokam.ru>**1.10. Состав цитоплазмы**

Нуклеотиды,  
аминокислоты  
и другие  
органические  
вещества 3 %

Сахара 3 %

Липиды 2 %

Неорганические  
вещества 2 %

**1.11. Строение мембраны:**

- 1 — двойной слой фосфолипидов;  
2 — мембранные белки;  
3 — углеводы

Некоторые мембранные белки являются гликопротеидами. Их углеводные компоненты выступают над поверхностью мембраны, как антенны, и распознают внешние сигналы, обеспечивая взаимодействие между соседними клетками.

## СТРОЕНИЕ КЛЕТОК ЭУКАРИОТ. ЦИТОПЛАЗМА. ПЛАЗМАТИЧЕСКАЯ МЕМБРАНА

Клетка — самая маленькая живая система. Однако она имеет очень сложное строение. Основной структурный компонент клетки — мембраны. Они изолируют само тело клетки и многие её органоиды.

**СТРОЕНИЕ КЛЕТКИ ЭУКАРИОТ** Разнообразие клеток эукариот огромно, однако все они имеют общие черты строения. В каждой клетке имеются цитоплазма и ядро, тесно связанные между собой.

Цитоплазма включает жидкое содержимое и погружённые в него структуры — органоиды. Жидкая часть цитоплазмы — вязкий водный раствор, содержащий разнообразные белки (в том числе ферменты, структурные белки) и другие соединения. Это основная реакционная среда клетки. Здесь также могут откладываться запасные питательные вещества.

**ПЛАЗМАТИЧЕСКАЯ МЕМБРАНА** Плазматическая мембрана состоит из жидкого двойного слоя фосфолипидов, в котором находятся молекулы белков, имеющие возможность в нём передвигаться. Такая модель строения мембран получила название **жидкостно-мозаичной**. Плазматическая мембрана отделяет внутреннюю среду клетки от внешней и выполняет защитную функцию. Кроме того, она регулирует обмен веществ между клеткой и окружающей средой, между органоидами и цитоплазмой и поддерживает постоянство состава клетки на протяжении всей её жизни.



У всех живых организмов мембраны клеток и органоидов имеют единый план строения. Индивидуальность клеток обеспечивается различием в наборе белков, липидов и углеводов.

**ТРАНСПОРТ ВЕЩЕСТВ ЧЕРЕЗ МЕМБРАНУ** Мембраны выполняют транспортную функцию. Через двойной слой липидов могут проходить только нерастворимые в воде соединения. Вода и различные ионы поступают в клетку путём диффузии

(движения в сторону меньшей концентрации) через специальные отверстия — поры. Особые транспортные белки обеспечивают избирательное поступление необходимых для клетки питательных веществ и выведение продуктов обмена.

Вещества также могут поступать в клетку в виде пузырьков, окружённых мембраной. Захват плазматической мембраной твёрдых частиц называют **фагоцитозом** (греч. *phagos* — пожирать и *kytos* — клетка), а капелек жидкостей с растворёнными в них веществами — **пиноцитозом** (греч. *pinō* — пью).



С помощью фагоцитоза происходит питание амёбы и некоторых других простейших. В многоклеточном организме фагоцитоз осуществляют лейкоциты. В результате обеспечивается защита организма от инфекций. Кроме лейкоцитов, к фагоцитозу способны клетки плаценты, клетки, выстилающие полость тела. Микроворсинки эпителиальных клеток кишечника образуют огромное число фагоцитозных пузырьков.

Через плазматическую мембрану из клетки выводятся разнообразные продукты обмена и синтезированные в ней вещества, например различные секреты эндокринных желёз. Происходит как бы **обратный пиноцитоз**. Удаление твёрдых частиц, например из пищеварительных вакуолей простейших, происходит путём **обратного фагоцитоза**.

**ПОВЕРХНОСТНЫЕ СТРУКТУРЫ КЛЕТКИ** У большинства клеток имеются структуры, расположенные над плазматической мембраной. У клеток растений и грибов это прочная наружная клеточная стенка. Она выполняет защитную и опорную функции: защищает клетки от механических повреждений, действия химических факторов, служит наружным скелетом, определяет форму клеток. Клеточные стенки проницаемы для воды и растворённых в ней веществ.

Поверхностный слой клеток животных называют **гликокаликсом**. Он состоит из молекул полисахаридов, связанных с белками и липидами плазматической мембраны. Многие из белков представляют собой рецепторы, обеспечивающие передачу сигналов внутрь клетки.



1.12. Пиноцитоз (а) и фагоцитоз (б)

Клетки растений и грибов, имеющие твёрдую клеточную стенку (целлюлозную и хитиновую соответственно), способны только к пиноцитозу.

Толщина гликокаликса мала (меньше 1 мкм). Он не может выполнять защитную или опорную функцию. Однако его роль важна, он обеспечивает связь клеток животных с внешней средой, распознавание соседних клеток.

### ВОПРОСЫ:

- Опишите процессы поступления веществ в клетку.
- Каковы функции плазматической мембраны?
- Как вещества поступают в клетку?
- Что располагается на поверхности мембран растительных и животных клеток?
- Каковы состав и функции цитоплазмы?



**ВЫ УЗНАЕТЕ:**

- Об органоидах, обеспечивающих целостность клетки.
- Почему клетка может поддерживать свою форму.

**ВСПОМНИТЕ:**

- Какую функцию выполняют вакуоли в растительных клетках?

1.13. ЭПС (а);  
комплекс Гольджи (б);  
лизосомы (в)



У многоклеточных организмов лизосомы иногда принимают участие в переваривании целых клеток. Например, с участием их ферментов разрушаются клетки хвоста у головастика при его превращении в лягушку.

## ВАКУОЛЯРНАЯ И ОПОРНО-ДВИГАТЕЛЬНАЯ СИСТЕМЫ КЛЕТКИ

Изобретение электронного микроскопа позволило обнаружить целый мир ультраструктур клетки, о существовании которых никто не подозревал. Выяснилось, что каждый клеточный органоид имеет свою внутреннюю среду и представляет собой отсек, окружённый мембраной.

**ВАКУОЛЯРНАЯ СИСТЕМА** Разветвлённую систему соединённых между собой полостей, трубочек и каналов называют **эндоплазматической сетью (ЭПС)**. Она отделена от цитоплазмы мембраной и связана с наружной мембраной ядра клетки. Существует два типа эндоплазматической сети: шероховатая и гладкая. Поверхность **шероховатой ЭПС** снаружи покрыта рибосомами. На рибосомах синтезируются белки, которые через мембрану поступают в каналы ЭПС и транспортируются по ним в аппарат Гольджи. Многие из этих белков — ферменты. Мембраны **гладкой ЭПС** не имеют рибосом, здесь синтезируются различные липиды и полисахариды. Таким образом, в ЭПС происходит синтез белков и других веществ и их транспорт в аппарат Гольджи.

ЭПС тесно связана с **комплексом (или аппаратом) Гольджи**. Органоид назван по имени открывшего его итальянского учёного Камилло Гольджи (1898). Он состоит из системы плоских, образованных мембранами полостей (мешков) и мелких пузырьков. В полости аппарата Гольджи из каналов ЭПС поступают разнообразные белки, липиды и полисахариды, которые подвергаются здесь различным преобразованиям. Готовые продукты упаковываются в пузырьки, окружённые мембраной, и выводятся наружу (секретируются клеткой). Таким образом, главная функция аппарата Гольджи — секреторная. Аппарат Гольджи участвует также в образовании лизосом.

Окружённые мембраной пузырьки, содержащие разнообразные ферменты, с помощью которых осуществляется расщепление молекул различных органических веществ, называют **лизосомами** (греч. *lysis* — распад, разложение и *sōma* — тело). Основная функция лизосом — переваривание веществ в клетке. Мембрана, окру-

жающая лизосомы, устойчива к воздействию ферментов и защищает клетки от самопереваривания.

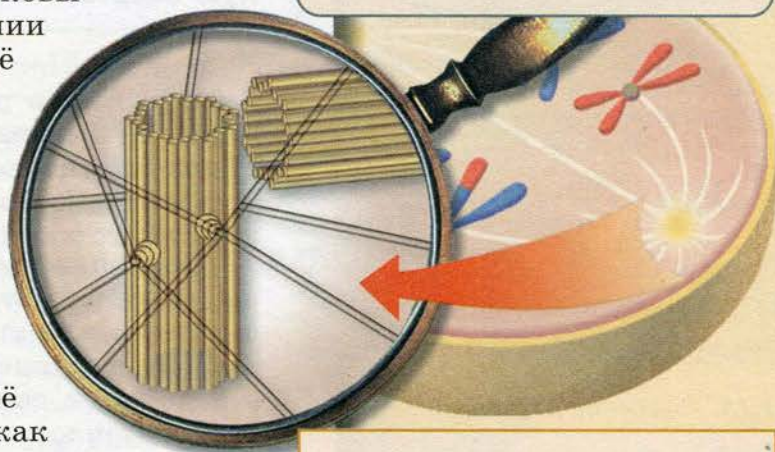


Типичные органоиды клеток растений — вакуоли. Они встречаются также в клетках грибов и простейших (сократительные и пищеварительные вакуоли). В клетках растений вакуоль представляет собой полость, окружённую мембраной, занимающую до 90 % всего объёма. Её содержимое — клеточный сок. Это водный раствор неорганических и низкомолекулярных органических веществ (сахаров, аминокислот, кислот). В вакуолях могут запасаться питательные вещества, откладываться вредные продукты обмена. Вакуоль придаёт клеткам растений необходимую упругость.

**ОПОРНО-ДВИГАТЕЛЬНЫЙ АППАРАТ** В клетках животных имеется особый органоид — **клеточный центр**. Он состоит из двух центриолей, расположенных под прямым углом друг к другу, и центросферы. Каждая **центриоль** — это цилиндр, стенки которого образованы белковыми микротрубочками. При делении клетки центриоли расходятся к её полюсам и образуют веретено деления. Центросфера в световом микроскопе выглядит как лучистое сияние, окружающее центриоли. В области центросферы формируются многочисленные микротрубочки, которые пронизывают цитоплазму клетки. Они образуют **цитоскелет** клетки, поддерживающий её форму. Цитоскелет гибкий, так как микротрубочки способны изменять своё положение, перемещаться, удлиняться и укорачиваться. Он имеется только в клетках эукариот.

Многие одноклеточные организмы передвигаются с помощью ресничек и жгутиков. Реснички и жгутики всех эукариот имеют единый принцип строения. Они представляют собой выросты цитоплазмы, окружённые снаружи плазматической мембраной, и различаются лишь длиной. Движение ресничек и жгутиков осуществляется за счёт энергии АТФ.

Центриоли имеются также у некоторых простейших и водорослей. Однако они отсутствуют у высших растений.



#### ВОПРОСЫ:

- Какие органоиды относят к вакуолярной системе клетки?
- Какова роль ЭПС и аппарата Гольджи в обеспечении целостности клетки?
- Каковы функции лизосом и вакуолей?
- Какие структуры составляют опорно-двигательный аппарат клетки?

**ВЫ УЗНАЕТЕ:**

● О сложных образованиях, похожих на клетки внутри клетки.

**ВСПОМНИТЕ:**

- Почему листья в осенний период меняют свою окраску?
- Каково значение АТФ в клетке?
- Какие вещества называют пигментами?

**1.14. Строение хлоропластов**

Осенью тилакоиды и содержащийся в них хлорофилл разрушаются, и они превращаются в хромопласты. Поэтому листья растений меняют цвет.

**1.15. Строение митохондрий****ПЛАСТИДЫ И МИТОХОНДРИИ. РИБОСОМЫ**

**В** клетках эукариот имеются органоиды, окружённые двумя мембранами, — пластиды и митохондрии. Изучение их тонкого строения позволило выявить черты сходства этих органоидов с прокариотической клеткой.

**ПЛАСТИДЫ** Только в клетках растений встречаются пластиды. Существует три вида пластид, имеющих сходное строение: хлоропласты, лейкопласты и хромопласты.

**Хлоропласты** (греч. *chlōros* — зелёный, *plastos* — вылепленный) сосредоточены в клетках зелёных частей растений, в основном в листьях. Содержимое хлоропласта — бесцветное студенистое вещество — **stroma**. Внутренняя их мембрана образует выросты — **тилакоиды**. В мембранах тилакоидов содержится пигмент — хлорофилл. Благодаря этому в хлоропластах протекает процесс фотосинтеза, в световой фазе которого энергия солнечного света преобразуется в химическую энергию макроэргических связей АТФ.

При наличии освещения хлоропласты располагаются так, чтобы свет воздействовал на возможно большую площадь их поверхности. В результате эффективность фотосинтеза возрастает.

**Лейкопласты** (греч. *leukos* — белый) бесцветны, не содержат пигментов. В них откладывается в запас крахмал, поэтому их много в клетках запасающих тканей корневищ, клубней, луковиц и в некоторых семенах.

**Хромопласты** (греч. *chrōma* — цвет) содержат пигменты оранжевого, жёлтого и красного цвета. Они придают окраску лепесткам цветков, плодам, осенним листьям, некоторым корнеплодам.

**МИТОХОНДРИИ** Митохондрии обнаружены в клетках всех эукариот: растений, животных и грибов. Обычно они имеют форму палочек или нитей. Их внутреннее содержимое — бесцветное студенистое вещество — **матрикс**. Внутренняя мембрана митохондрий образует многочисленные складки — **кристы**. В неё встроены ферменты, которые обеспечивают превращение энергии, полученной в ре-

зультате биологического окисления, в энергию макроэргических связей молекул АТФ.



Чем активнее протекают в клетках процессы жизнедеятельности, тем больше в них содержится митохондрий. В молодых клетках их больше, чем в стареющих. Митохондрии всегда скапливаются в тех участках клетки, где требуется АТФ. Например, при образовании фаго- и пиноцитозных пузырьков они сосредотачиваются рядом с мембраной.

#### СХОДСТВО СТРОЕНИЯ ПЛАСТИД И МИТОХОНДРИЙ С БАКТЕРИАЛЬНОЙ КЛЕТКОЙ

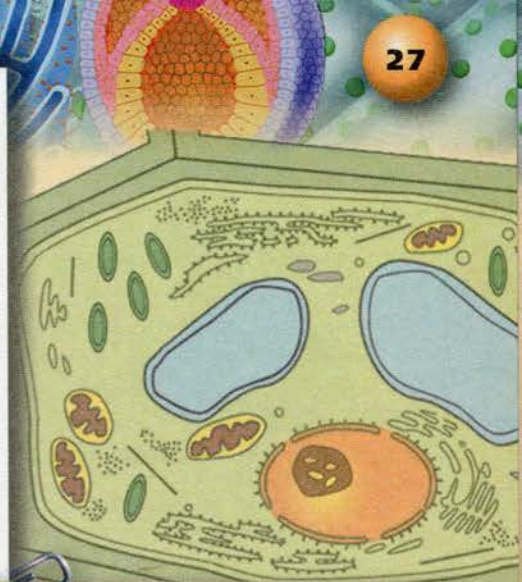
Хлоропласты и митохондрии существуют внутри клетки несколько автономно. Они могут самостоятельно (независимо от ядра) размножаться путём деления. В строении хлоропластов и матрикс митохондрий содержится собственная молекула ДНК, замкнутая в кольцо, напоминающая нуклеоид бактериальной клетки. Здесь же находятся молекулы РНК и органоиды, отвечающие за собственный синтез белка, — рибосомы. При этом рибосомы митохондрий и хлоропластов более мелкие, как и рибосомы бактерий.



Существует гипотеза, согласно которой предки митохондрий и хлоропластов были самостоятельными прокариотическими организмами. Возможно, на определённом этапе эволюции они стали поселяться в примитивных клетках, содержащих ядро, или были поглощены путём фагоцитоза эукариотическими клетками. При этом они смогли сохранить автономность, утратив некоторые функции (частично деградировали). Однако фактов, подтверждающих эту гипотезу, пока ещё недостаточно.

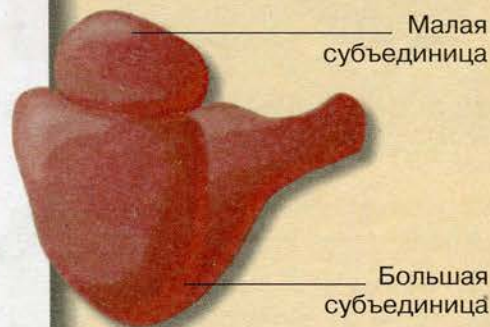
#### РИБОСОМЫ

Немембранные органоиды клетки, состоящие из рибосомальной РНК (рРНК) и белков, называют **рибосомами**. Функция рибосом — сборка белков из аминокислот. Каждая рибосома представлена двумя субъединицами — большой и малой, которые образуются в ядрышке клетки. Различают два типа рибосом, отличающихся размерами. Более крупные рибосомы характерны для клеток эукариот.



И хлоропласты, и митохондрии — органоиды, участвующие в процессах преобразования энергии в клетках. Различие между ними заключается в том, что хлоропласты поглощают энергию света и используют её для синтеза АТФ. В митохондриях же происходит кислородное окисление органических соединений, а высвобождающаяся при этом энергия используется в процессе синтеза молекул АТФ.

#### 1.16. Строение рибосомы



#### ВОПРОСЫ:

- Почему хлоропласты отсутствуют в клетках животных и грибов?
- Что общего в строении митохондрий и хлоропластов?
- Почему рибосомы — обязательный компонент любой клетки?

**ВЫ УЗНАЕТЕ:**

- О способах получения энергии клеткой.
- О значении световой и темновой фаз фотосинтеза.

**ВСПОМНИТЕ:**

- Какие процессы составляют обмен веществ?



1.17. Схема обмена веществ живых организмов

**М**олочная кислота образуется в процессе жизнедеятельности бактерий молочнокислого брожения, которое происходит при скисании молока, квашении капусты. Спиртовое брожение осуществляется дрожжевыми грибами, его результат — этиловый спирт и углекислый газ. Брожение с давних времён широко используется в хозяйственной деятельности человека при получении теста, пива, вина, кефира, квашении капусты.

## ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ КЛЕТКИ

**К**летка — открытая живая система, связанная с окружающей средой обменом веществ. Благодаря этому клетка (и организм в целом) находится в состоянии динамического равновесия с внешней средой и способна это равновесие поддерживать.

**ОБМЕН ВЕЩЕСТВ И ПРЕВРАЩЕНИЯ ЭНЕРГИИ** Совокупность химических ферментативных реакций, обеспечивающих рост, воспроизведение, жизнедеятельность клеток, связь со средой, называют **обменом веществ**. В клетку непрерывно поступают различные вещества. В процессе обмена веществ клетки получают необходимую энергию и строительный материал для синтеза новых молекул. Совокупность ферментативных реакций синтеза органических веществ с использованием энергии, заключённой в молекулах АТФ, называют **пластическим обменом**. Процесс окисления сложных органических веществ с освобождением энергии, запасаемой в молекулах АТФ, называют **энергетическим обменом**.

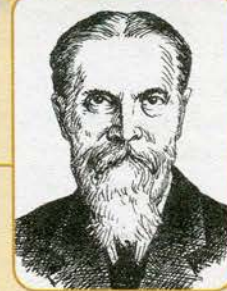
**ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ ОБМЕН** По способу добывания энергии выделяют аэробные и анаэробные организмы. **Аэробы** (греч. *aēr* — воздух, *bios* — жизнь) — организмы, способные обитать лишь в среде, содержащей кислород. К ним относят все растения, почти всех животных, большинство грибов, бактерий. У аэробов органические вещества в клетках окисляются с участием кислорода до конечных продуктов —  $\text{CO}_2$  и  $\text{H}_2\text{O}$ , которые выделяются в окружающую среду. При этом освобождается энергия, которая запасается в молекулах АТФ. Этот процесс называют **дыханием**.

**Анаэробы** (греч. *an* — отрицательная частица) — организмы (некоторые грибы и бактерии), способные обитать в бескислородной среде. У анаэробов молекулы АТФ синтезируются в процессе брожения. Конечные продукты брожения — несложные органические вещества (молочная кислота, этиловый спирт, уксусная кислота) — содержат ещё много энергии. По сравнению с дыханием брожение — эволюционно более ранняя и энергетически менее выгодная форма извлечения энергии из органических веществ.

**ФОТОСИНТЕЗ** В зависимости от способа питания различают гетеротрофные и автотрофные организмы. **Гетеротрофы** — организмы, питающиеся готовыми органическими веществами. Это все животные, грибы, большинство бактерий и некоторые растения-паразиты, лишённые хлорофилла. **Автотрофы** синтезируют органические вещества из неорганических в процессе фотосинтеза и хемосинтеза. К ним относят большинство растений и некоторых бактерий. Центральная роль в фотосинтезе принадлежит хлорофиллу. Этот пигмент преобразует энергию солнечного излучения в энергию химических связей.

Процесс фотосинтеза включает две фазы. В **световую фазу**, которая осуществляется только на свету, энергия солнечного света поглощается молекулами хлорофилла и используется для синтеза АТФ. Это сопровождается разложением молекул воды. В результате в окружающую среду выделяется кислород (как побочный продукт) и образуются ионы водорода, участвующие в темновых реакциях фотосинтеза.

Процессы **темновой фазы** от наличия освещения не зависят и могут идти как на свету, так и в темноте. Углекислый газ, поступающий в хлоропласты из атмосферы, используется для синтеза углеводов. При этом расходуется энергия, запасённая в молекулах АТФ во время световой фазы. Углеводы образуются в результате сложных ферментативных реакций, в ходе которых происходит постепенное восстановление углекислого газа водородом, образовавшимся в световую фазу.



**Т**имирязев  
Климент Аркадьевич  
1843–1920

Русский физиолог растений, внёс большой вклад в разработку проблемы фотосинтеза. Выяснил необходимость света и раскрыл роль хлорофилла в фотосинтезе.



1.18. Схема процесса фотосинтеза

Фотосинтез — основной поставщик не только органических веществ, но и кислорода на Земле. В результате фотосинтеза ежегодно растения связывают  $1,7 \times 10^8$  т углерода. В синтез вовлекаются также миллиарды тонн азота, фосфора, серы, кальция, магния, калия и других элементов. В результате ежегодно синтезируется около  $4 \times 10^7$  т органических веществ. При всей мощности природный фотосинтез — медленный и малоэффективный процесс. Зелёный лист использует для фотосинтеза всего около 1% падающего на него солнечного излучения. Продуктивность фотосинтеза составляет 1 г органических веществ на  $1 \text{ м}^2$  площади листьев в час.

#### ВОПРОСЫ:

- В чём заключается единство двух противоположных процессов, обеспечивающих обмен веществ?
- Какие способы получения энергии существуют у живых организмов?
- Каковы этапы и результаты процесса фотосинтеза? Какова его планетарная роль?

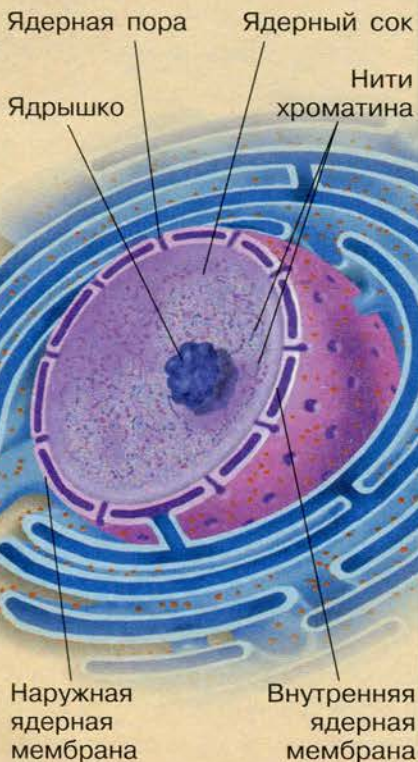
**ВЫ УЗНАЕТЕ:**

- В чём заключаются функции ядра в клетке.
- Чем хроматин отличается от хромосом.

**ВСПОМНИТЕ:**

- Где в клетке содержится молекула ДНК?
- Какие клетки не содержат ядра?

Впервые ядро в клетках растений описал шотландский биолог Р. Броун, открывший броуновское движение. Он же предложил название для этого органоида — *nucleus* — ядро.

**1.19. Строение ядра****СТРОЕНИЕ И ФУНКЦИИ КЛЕТОЧНОГО ЯДРА**

**Ядро** — самый крупный клеточный компонент, хорошо видимый в световой микроскоп. Поэтому оно было открыто первым среди клеточных структур. Ядро имеется во всех клетках эукариот, за исключением зрелых эритроцитов млекопитающих.

**ЯДЕРНАЯ ОБОЛОЧКА. ЯДРЫШКИ** Ядро окружено **ядерной оболочкой**, образованной двумя мембранами. Наружная мембрана имеет складки, которые переходят в мембраны каналов эндоплазматической сети. Складки мембраны покрыты рибосомами. Внутренняя мембрана гладкая. Оболочка ядра пронизана порами, через которые цитоплазма и ядро обмениваются различными веществами. Так, из ядра в цитоплазму поступают молекулы РНК, участвующие в синтезе белков. Содержимое ядра заполнено **ядерным соком**, в котором располагаются хроматин и ядрышки. Ядерный сок обеспечивает взаимосвязь компонентов ядра.



Обычно в клетках содержится одно ядро шаровидной формы (диаметром от 1 мкм до 1 мм). Бывают исключения: например, инфузория-туфелька имеет два ядра — большое и малое. Клетки поперечно-полосатых мышц многоядерные.

В ядре может находиться одно или несколько ядрышек, имеющих округлую форму. Ядрышки лишены мембран и не являются самостоятельными органоидами. Во время деления клетки они исчезают.

В ядрышках формируются рибосомы — органоиды, в которых происходит синтез белков. Рибосомы выходят из ядра в цитоплазму, где и выполняют свои функции.

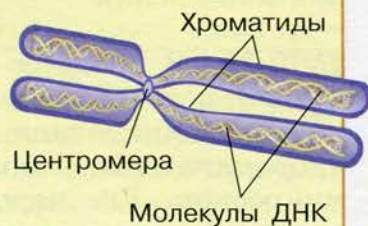
**ЗНАЧЕНИЕ ЯДРА** Роль ядра в клетке выяснена в конце XIX в., когда были изучены процессы клеточного деления. В ядре содержится ДНК, поэтому оно отвечает за хранение и передачу наследственной информации. Ядро регулирует все процессы, происходящие в клетке (деление, синтез белка, обмен веществ и превращения энергии).

Свои функции ядро выполняет в тесной взаимосвязи с цитоплазмой. При разрушении или удалении ядра клетка погибает, так как цитоплазма может осуществлять некоторые жизненные функции только очень короткое время.

**ХРОМАТИН И ХРОМОСОМЫ** В жизни ядра различают два периода — между делениями и во время деления клетки. В разные периоды внутреннее строение ядра меняется. Между делениями клетки ядро содержит ядерный сок и нити хроматина. **Хроматин** по своей химической природе — нуклеопротеид. Он представляет собой длинные тонкие нити ДНК, образующие комплекс с особыми белками — гистонами. До деления клетки нити хроматина раскручены. Во время деления они скручиваются, что сопровождается их утолщением и укорачиванием. В результате формируются особые образования — хромосомы.



**Хромосомы** — компоненты клеточного ядра, носители генов. Они определяют наследственные признаки клеток и организма в целом. Каждая хромосома состоит из двух одинаковых нитей — хроматид, которые соединяются между собой в области перетяжки — центромеры. В период деления клетки к центромере прикрепляются нити веретена деления.



**ХРОМОСОМНЫЙ НАБОР** Для каждого вида живых организмов характерно определённое число хромосом, а также их размеры и форма. В **соматических** (греч. *soma* — тело) клетках животных и растений содержится двойной набор хромосом. Его называют **диплоидным** и обозначают  $2n$ . В нём каждая хромосома имеет пару. Хромосомы, составляющие одну пару, идентичны друг другу. Они имеют одинаковую форму, размеры, и их называют **гомологичными**. В половых клетках хромосомы непарные и их число в два раза меньше. Они составляют одинарный, или **гаплоидный**, набор, его обозначают  $n$ . Хромосомы, относящиеся к разным парам, различаются формой и размерами, их называют **негомологичными**.

## МОИ БИОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Рассмотрите ядра в живых клетках кожицы лука.

### «ПОМОЩНИК»

- С внутренней поверхности сочной чешуи лука снимите кусочек кожицы (0,5 см). Положите кожицу в каплю воды на предметное стекло. Сверху препарат накройте покровным стеклом и рассмотрите его в микроскоп.
- Найдите в клетках ядро.
- С правой стороны покровного стекла нанесите капельку раствора йода, а с левой — приложите полоску фильтровальной бумаги.
- Наблюдайте за клетками: их содержимое быстро отмирает, белки цитоплазмы денатурируют, ядро становится хорошо заметным.
- Зарисуйте увиденное. Подпишите части клетки.

У некоторых видов число хромосом может совпадать. Например, у клевера красного и гороха посевного  $2n = 14$ . Однако хромосомы у них различаются по форме, размерам.

### ВОПРОСЫ:

- Какие компоненты входят в состав ядра? Каковы их функции?
- Что представляют собой хроматин и хромосомы?
- Какие хромосомы называют гомологичными?
- Какой набор хромосом имеют соматические и половые клетки?



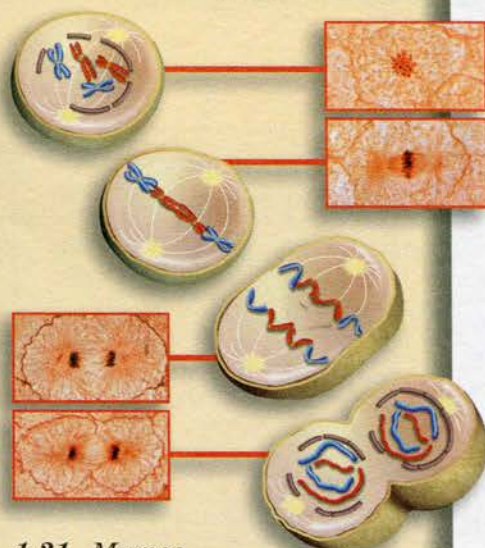
**ВЫ УЗНАЕТЕ:**

● О значении и отличительных чертах митоза и мейоза.

**ВСПОМНИТЕ:**

- Какова функция ДНК?
- В чём различие хромосомных наборов половых и соматических клеток?

1.20. Клеточный цикл



1.21. Митоз

В среднем у разных организмов митотическое деление длится 1–2 часа, а интерфаза – 10–20 часов.

**ДЕЛЕНИЕ КЛЕТКИ. МИТОЗ. МЕЙОЗ**

Рудольф Вирхов дополнил клеточную теорию Т. Шванна важным положением: всякая клетка — от клетки. Так было положено начало изучению процессов клеточного деления, основные закономерности которого были выяснены в конце XIX в.

**КЛЕТочный ЦИКЛ** Основной способ деления соматических клеток — **митоз**. Ему предшествует **интерфаза** — стадия подготовки клетки к делению. Интерфаза вместе с митозом составляет **клеточный цикл** — период жизни клетки от одного деления до другого.

В период интерфазы происходит удвоение молекул ДНК. В результате каждая хромосома оказывается состоящей из двух одинаковых нитей ДНК — сестринских хроматид, соединённых друг с другом в области центромеры. В интерфазе также увеличивается число органоидов, активно синтезируется АТФ для обеспечения процессов деления энергией, удваиваются центриоли (в клетках животных).

**МИТОЗ** В процессе митотического деления выделяют несколько фаз. На стадии **профазы** тонкие нити хроматина постепенно скручиваются и укорачиваются, становятся видны в световой микроскоп. Две пары центриолей расходятся к полюсам клетки, и между ними из микротрубочек формируются нити веретена деления, которые прикрепляются к центромерным участкам каждой хромосомы. Ядрышки исчезают, ядерная оболочка распадается. На следующей стадии — **метафазе** — хромосомы располагаются в экваториальной плоскости клетки, образуя метафазную пластинку.

На стадии **анафазы** сестринские хроматиды разделяются в области центромеры и становятся самостоятельными хромосомами. Присоединённые к ним нити веретена деления сокращаются и разводят хромосомы к полюсам клетки. На последней стадии — **телофазе** — формируется ядерная оболочка, образуются ядрышки. Хромосомы раскручиваются. Митоз заканчивается делением цитоплазмы и образованием двух дочерних клеток.



Биологическое значение митоза в том, что дочерние клетки получают такую же наследственную информацию, что и материнская клетка. В результате обеспечиваются согласованная работа клеток в составе тканей, эмбриональное развитие и рост организма, восстановление органов после повреждения.

**МЕИОЗ** Процесс мейоза представляет собой два быстро следующих одно за другим деления — мейоз I и мейоз II. Перед началом первого деления происходит удвоение ДНК и в профазу I вступают двойные хромосомы, состоящие из сестринских хроматид.



Во время профазы I гомологичные хромосомы сближаются и объединяются по всей длине — **конъюгируют**. Спустя некоторое время они начинают отдаляться, но в некоторых участках связь между ними сохраняется и возникают мостики. В этих участках происходит обмен фрагментами ДНК. Этот процесс получил название **кроссинговер**. Он один из источников наследственной изменчивости.

В метафазе I в экваториальной плоскости клетки выстраиваются объединённые попарно хромосомы, к центромере каждой из которых прикрепляется нить веретена деления. В анафазе I к полюсам клетки расходятся не хроматиды, а хромосомы — по одной от каждой пары, и в телофазе I образуются две клетки с диплоидным набором хромосом.

После телофазы I наступает второе деление мейоза. Удвоения хромосом не происходит. Мейоз II состоит из тех же этапов, что и митоз. Таким образом, в результате мейоза из одной диплоидной ( $2n$ ) клетки образуется четыре клетки с гаплоидным набором хромосом ( $n$ ).



В результате мейоза формируются половые клетки. При оплодотворении гаметы сливаются и число хромосом удваивается, что соответствует диплоидному набору. Мейоз обеспечивает постоянный для каждого вида набор хромосом и количество ДНК.



1.22. Мейоз

#### ВОПРОСЫ:

- Каково значение интерфазы?
- Опишите фазы митоза и мейоза и назовите их биологическое значение.
- Какой процесс деления претерпела клетка ( $2n = 4$ ), если в его ходе образовались клетки, содержащие 4 хромосомы?

**ВЫ УЗНАЕТЕ:**

- О разнообразии способов бесполого размножения.
- Почему половое размножение имеет большое значение для эволюции.

**ВСПОМНИТЕ:**

- Каковы способы вегетативного размножения?
- Как размножаются мхи?
- Почему для размножения папоротников нужна вода?

Нередко при почковании дочерние особи остаются связанными с материнским организмом, в результате формируется колония, например у коралловых полипов.

Вегетативное размножение свойственно некоторым низкоорганизованным животным (губкам, кишечнорастворимым, плоским червям). Они способны восстановить целый организм из части материнской особи. Например, у пресноводной гидры из 1/200 части тела может восстанавливаться целый организм.

## СПОСОБЫ РАЗМНОЖЕНИЯ ОРГАНИЗМОВ

Деление клеток — основа самовоспроизведения и размножения живых организмов. В ходе эволюции возникли разнообразные способы размножения. Однако все они могут быть отнесены к одной из двух форм: бесполому или половому.

**БЕСПОЛОЕ РАЗМНОЖЕНИЕ** Если размножение происходит без участия половых клеток, то его называют **бесполом**. При таком способе в размножении участвует одна материнская особь, которая делится, почкуется или образует споры. В основе бесполого размножения лежит митоз. Поэтому все дочерние особи — точные копии материнской.

Почкование встречается у одноклеточных грибов (дрожжей), кишечнорастворимых. При этом новая особь образуется на теле материнской особи в виде выроста — почки, а затем отделяется от неё. Некоторые водоросли, высшие споровые растения, а также грибы формируют споры. Это специальные клетки, покрытые плотной оболочкой. Они служат для размножения и расселения. Подвижные споры водорослей снабжены жгутиками.

У высших растений развита способность к вегетативному размножению. Новый организм образуется из части материнского. Такой способ размножения позволяет сохранять признаки сорта, быстро выращивать новые растения и потому широко используется в сельском хозяйстве. Для животных вегетативное размножение не характерно, но есть исключения.

**ПОЛОВОЕ РАЗМНОЖЕНИЕ** В половом размножении участвуют две родительские особи, которые производят половые клетки (гаметы). Гаметы формируются в ходе мейоза и содержат гаплоидный набор хромосом. Процесс слияния гамет, приводящий к образованию диплоидной **зиготы**, называют **оплодотворением**. Он лежит в основе полового размножения. Наследственный материал материнской и отцовской особей в результате оплодотворения объединяется, и из зиготы раз-

вивается новый организм, похожий на родителей и вместе с тем отличный от них. Кроме того, к различным комбинациям родительских признаков приводит обмен участками гомологичных хромосом в профазе мейоза I. Таким образом, половое размножение обуславливает наследственную изменчивость, дающую материал для естественного отбора. В результате оно имеет значительные эволюционные преимущества перед бесполом размножением.

#### ЧЕРЕДОВАНИЕ ПОКОЛЕНИЙ В ЖИЗНЕННОМ ЦИКЛЕ РАСТЕНИЙ

В цикле развития большинства растений и некоторых животных (простейшие, кишечнополостные) наблюдается чередование бесполого и полового поколений. У растений бесполое поколение развивается из зиготы, имеет двойной набор хромосом. На нём формируются органы бесполого размножения — спорангии со спорами. Половое поколение развивается из споры и содержит гаплоидный набор хромосом. Оно формирует половые клетки — гаметы. У всех высших растений (за исключением мхов) в жизненном цикле доминирует бесполое поколение. Половое поколение развито слабо и существует недолго.

У папоротников половое поколение представлено заростком, размеры которого составляют несколько миллиметров, а время жизни — несколько недель. В жизненном цикле мхов доминирует половое поколение, представляющее собой побеги мха. Бесполое поколение — коробочка со спорами на длинной ножке — развивается на побегах.

Тот факт, что половое поколение папоротников и мхов представляет собой самостоятельное образование, объясняется тем, что их размножение связано с водой. Вода необходима для того, чтобы сперматозоиды достигли яйцеклетки и произошло оплодотворение.

Размножение семенных растений не связано с водой. Поэтому половое поколение не является самостоятельным. У голосеменных это часть семязачатка и пыльцевое зерно. У покрытосеменных оно представлено зародышевым мешком и также пыльцевым зерном. Кроме того, половое поколение, не покидающее пределов растения, лучше защищено от неблагоприятных условий.



— Половое поколение  
 — Бесполое поколение

#### ВОПРОСЫ:

- Чем бесполое размножение отличается от полового?
- Опишите способы бесполого размножения.
- Почему в жизненном цикле мхов и папоротников половое поколение представляет собой самостоятельное образование?

**ВЫ УЗНАЕТЕ:**

- Как строение мужских и женских гамет связано с их функцией.
- О значении внутреннего оплодотворения.
- Об особенностях двойного оплодотворения.

**ВСПОМНИТЕ:**

- Каково строение цветка?
- Как развивается семя у покрытосеменных растений?

**ОБРАЗОВАНИЕ ПОЛОВЫХ КЛЕТОК. ОПЛОДОТВОРЕНИЕ**

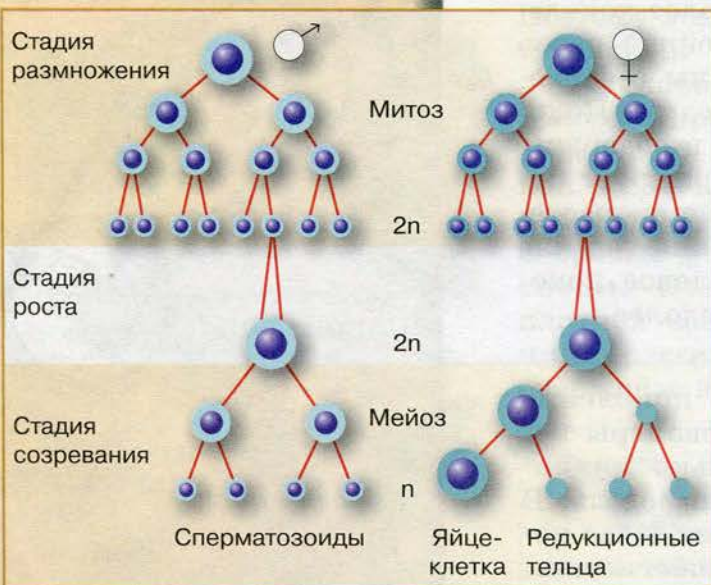
Половое размножение осуществляется с помощью специализированных половых клеток. У животных и человека развитие половых клеток происходит в половых железах. Здесь образуются диплоидные первичные половые клетки, из которых формируются мужские и женские гаметы.

**СТАДИИ ФОРМИРОВАНИЯ ГАМЕТ** Первичные половые клетки человека в процессе развития проходят несколько стадий. У женщин они начинают делиться ещё во время внутриутробного развития (стадия **размножения**). Затем первичные половые клетки проходят стадии **роста** и **созревания**. В период созревания они делятся мейозом. В результате из одной диплоидной клетки формируются четыре гаплоидные: яйцеклетка и редукционные тельца, которые в дальнейшем разрушаются.

У мужчин процесс образования сперматозоидов начинается в период полового созревания и постепенно угасает в старости. При образовании мужских гамет из каждой первичной половой диплоидной клетки в результате мейоза образуются четыре гаплоидные ( $n$ ) клетки — сперматозоиды.

**СТРОЕНИЕ СПЕРМАТОЗОИДОВ И ЯЙЦЕКЛЕТОК** Строение сперматозоида обеспечивает выполнение его основных функций: доставка наследственной информации, обеспечение диплоидного хромосомного набора зиготы, стимулирование яйцеклетки к развитию.

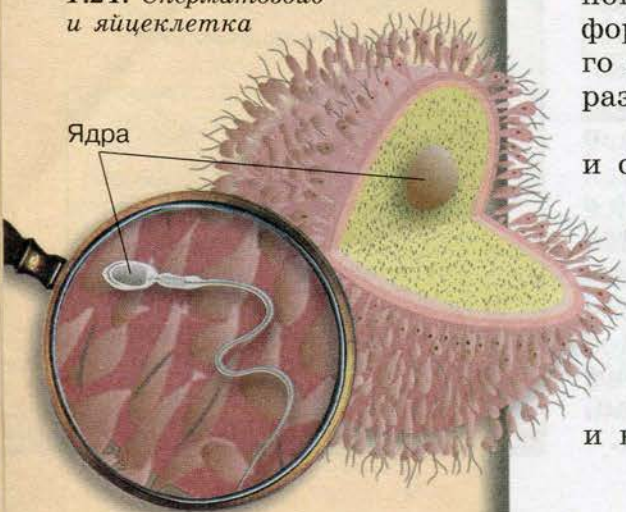
В головке сперматозоида располагаются ядро и специальный пузырьёк, который содержит ферменты, растворяющие оболочку яйцеклетки. В шейке — две центриоли (формируют микротрубочки жгутика) и митохондрии (обеспечивают движение жгутика энергией). Сперматозоиды практически не содержат цитоплазмы и многих органоидов у них нет. Яйцеклетка животных, как правило, крупная и неподвижная. Она содержит ядро, цитоплазму,



1.23. Стадии формирования гамет

1.24. Сперматозоид и яйцеклетка

Ядра



органоиды и запас питательных веществ, необходимых для развития зародыша. Снаружи яйцеклетка покрыта защитными оболочками.

**ОПЛОДОТВОРЕНИЕ У ЖИВОТНЫХ** У животных различают наружное и внутреннее оплодотворение. При **наружном** оплодотворении гаметы сливаются вне организма. При **внутреннем** оплодотворении слияние половых клеток осуществляется внутри организма. В этом случае вероятность оплодотворения возрастает, а возможность гибели гамет от влияния неблагоприятных условий внешней среды уменьшается.

Наружное оплодотворение характерно для рыб и земноводных, а внутреннее — для рептилий, птиц и млекопитающих.



В процессе оплодотворения у животных происходит: проникновение сперматозоида в яйцеклетку, слияние гаплоидных ядер гамет с образованием диплоидной зиготы и её стимулирование к дальнейшему развитию. После оплодотворения защитные оболочки яйцеклетки становятся непроницаемыми для других сперматозоидов.

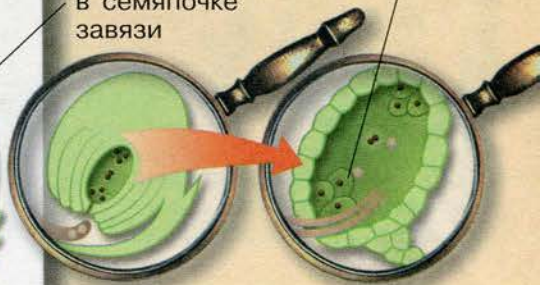
### ОПЛОДОТВОРЕНИЕ У ЦВЕТКОВЫХ РАСТЕНИЙ

Особенность покрытосеменных (цветковых) растений — наличие **двойного оплодотворения**. В пыльниках тычинок цветка образуются пыльцевые зёрна, содержащие две клетки (вегетативную и генеративную). При попадании пыльцевого зерна на рыльце пестика вегетативная клетка формирует пыльцевую трубку. Генеративная клетка образует два спермия ( $n$ ). В завязи пестика находится семязачаток с семиклеточным зародышевым мешком. Клетки, составляющие зародышевый мешок, гаплоидные, кроме центральной. Она образуется в результате слияния двух гаплоидных ядер и является диплоидной. Гаплоидная клетка, находящаяся напротив пыльцевхода, — яйцеклетка.



Пыльцевое зерно Яйцеклетка

Зародышевый мешок в семязпочке завязи



1.25. Двойное оплодотворение покрытосеменных

Пыльцевая трубка врастает в зародышевый мешок. Один спермий сливается с яйцеклеткой, в результате чего образуется зигота ( $2n$ ). Из неё развивается зародыш — будущее растение. Вторым спермий сливается с центральной клеткой зародышевого мешка, в результате формируется триплоидная ( $3n$ ) клетка, из которой в дальнейшем развивается эндосперм семени, содержащий запас питательных веществ.

### ВОПРОСЫ:

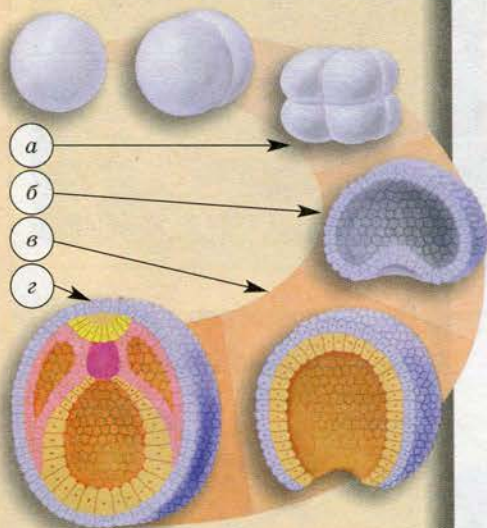
- Как происходит созревание сперматозоидов и яйцеклеток?
- Каковы особенности строения яйцеклетки и сперматозоида?
- В чём преимущества внутреннего оплодотворения?
- Опишите последовательность процессов двойного оплодотворения.

**ВЫ УЗНАЕТЕ:**

- О регуляции онтогенеза.
- О стадии старения.

**ВСПОМНИТЕ:**

- В чём различие прямого и непрямого развития организмов?
- У каких организмов непрямое развитие идёт с полным и неполным превращением?
- Какие возрастные периоды выделяют в онтогенезе человека?



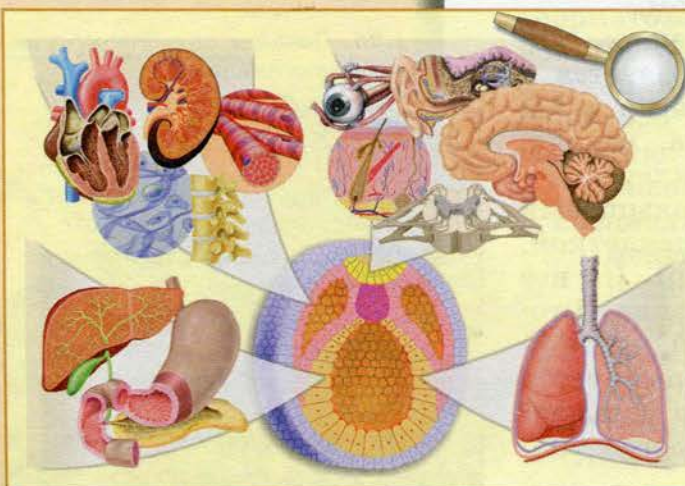
1.26. Эмбриональный этап онтогенеза: а) дробление; б) бластула; в) гастрола; г) нейрула

## ИНДИВИДУАЛЬНОЕ РАЗВИТИЕ ОРГАНИЗМА (ОНТОГЕНЕЗ)

**О**нтогенез — процесс индивидуального развития организма от момента возникновения зиготы до смерти. Его подразделяют на два этапа: эмбриональный и постэмбриональный.

**ЭМБРИОНАЛЬНЫЙ ЭТАП ОНТОГЕНЕЗА** Первый этап онтогенеза начинается с процесса **дробления** — деления зиготы с помощью митоза. Число клеток увеличивается, а их размеры уменьшаются. Клетки отодвигаются от центра зародыша и образуют сферу, внутри которой возникает полость. На этой стадии развития зародыш называют **бластулой** (греч. *blastos* — росток, зародыш) и он не превышает размеров зиготы.

Деление клеток митозом продолжается, и наступает следующая стадия развития зародыша — **гастрола** (греч. *gastēr* — желудок). У большинства животных она образуется в результате впячивания части стенки бластулы в полость. Возникает двухслойный зародыш, наружный слой клеток которого называют **эктодермой**, а внутренний — **энтодермой**. У всех зародышей многоклеточных животных, за исключением губок и кишечнополостных, между эктодермой и энтодермой закладывается третий слой клеток — **мезодерма**. Эктодерма, энтодерма и мезодерма представляют собой **зародышевые листки**. Полость, образовавшаяся после впячивания клеток, — **первичная полость тела**. Она открывается наружу первичным ртом. На следующей стадии — **нейруле** — начинается закладка органов будущего организма.



На спинной стороне зародыша из эктодермы формируется нервная пластинка, которая затем превращается в нервную трубку — зачаток центральной нервной системы. Из остальной части эктодермы развиваются эпителий кожного покрова, органы зрения и слуха. Из энтодермы формируются органы пищеварения и дыхания. Мезодерма даёт начало мышечной, хрящевой и костной тканям, кровеносной и выделительной системам.

**РЕГУЛЯЦИЯ ОНТОГЕНЕЗА** Все клетки зародыша и будущего организма происходят от одной исходной клетки — зиготы, поэтому содержат одинаковую наследственную информацию. В процессе дробления зиготы происходит перепрограммирование клеток, в них реализуется не вся наследственная информация, а только её часть. В результате возникают различия между клетками, формируются разные ткани и органы. Установлено, что на развитие зародыша уже на стадии гаструлы влияют отдельные его участки — **организаторы**. Они направляют развитие окружающих их клеток, а затем и тканей, органов.

Даже незначительное отклонение от нормы факторов внешней среды на ранних этапах онтогенеза может привести к нарушениям строения и функций взрослого организма.

#### **ПОСТЭМБРИОНАЛЬНЫЙ ЭТАП ОНТОГЕНЕЗА. СТАРЕНИЕ**

После рождения особи заканчивается эмбриональный и начинается **постэмбриональный этап** развития. Выделяют два типа постэмбрионального развития: прямое и непрямое. Прямое развитие характеризуется ростом сформировавшегося зародыша и проходит три стадии: до наступления полового созревания, зрелость и старение. Непрямое развитие проходит с метаморфозом (с полным или неполным превращением).

**Старение** — последняя стадия онтогенеза, закономерный процесс возрастных изменений организма, ведущий к снижению его адаптационных возможностей. На клеточном уровне старение обусловлено гибелью части клеток, снижением их митотической активности, разрушением лизосом, митохондрий, изменением свойств плазматических мембран.

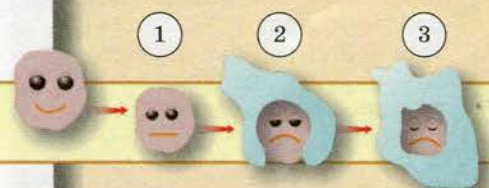
Генетически запрограммированную форму клеточной смерти называют **апоптозом**. Он проходит несколько этапов: необратимые нарушения структуры и физиологических процессов клетки (1), поглощение клетки фагоцитами (2), деградация её остатков (3).

Ведущие механизмы старения на уровне организма связаны с нарушением нервной и гуморальной регуляции, ослаблением функций систем жизнеобеспечения.



При непрямом развитии вылупившийся из яйца организм существенно отличается от взрослой особи. Процесс достижения зрелости происходит посредством полного или неполного метаморфоза. При полном метаморфозе организм проходит четыре стадии — яйцо, личинка, куколка, взрослая особь. Неполный метаморфоз характеризуется отсутствием одной из стадий.

Полагают, что у животных и человека механизмы старения запускаются на молекулярном уровне и связаны с необратимыми изменениями в ДНК, РНК, системе энергетического обеспечения клеток.



#### **ВОПРОСЫ:**

- Назовите стадии развития зародыша на эмбриональном этапе развития.
- Какие ткани образуются из эктодермы, эндодермы и мезодермы?
- Каковы механизмы старения?

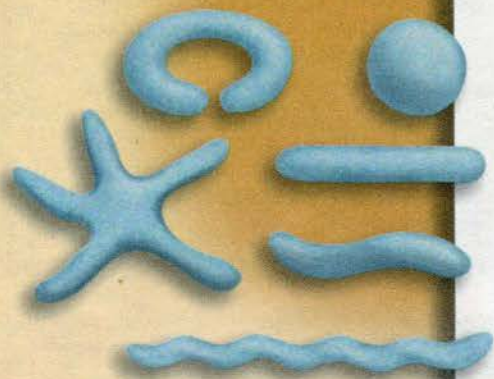


**ВЫ УЗНАЕТЕ:**

● Об особенностях строения бактериальной клетки и обмена веществ в ней.

**ВСПОМНИТЕ:**

- Чем сапротрофы отличаются от паразитов?
- В чём заключается отличие вакцин от сывороток?
- Каковы причины и меры профилактики пищевых отравлений?



1.27. Формы бактериальной клетки

Некоторые бактерии образуют споры. Они устойчивы к неблагоприятным воздействиям внешней среды — высоким температурам, высушиванию, химическим воздействиям. В благоприятных условиях споры прорастают.

Скорость размножения бактерий сравнима со скоростью распространения звука в воздушной среде. За 24 часа у бактерий сменяется столько же поколений, сколько у человека за 5 тыс. лет.

## ОСОБЕННОСТИ СТРОЕНИЯ И ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ ПРОКАРИОТ

К прокариотам относят все бактерии, включая цианобактерии. Они имеют микроскопические размеры (не более 10 мкм) и представлены в основном одноклеточными организмами.

### ОСОБЕННОСТИ СТРОЕНИЯ КЛЕТОК ПРОКАРИОТ

Отсутствие ядра, отделённого от цитоплазмы двойной мембраной, — основная особенность клеток прокариот. Наследственный материал сосредоточен в **нуклеоиде** — молекуле ДНК, замкнутой в кольцо. Он выполняет функции ядра и контролирует все основные процессы жизнедеятельности клетки. При разрушении нуклеоида клетка погибает.



Кроме нуклеоида, в бактериальной клетке содержатся небольшие кольцевые молекулы ДНК — **плазмиды**. Они придают бактериям дополнительные свойства, например невосприимчивость к антибиотикам. Плазмиды могут передаваться от одной клетки к другой, а также внедряться в нуклеоид. На этом свойстве плазмид основаны методы генной инженерии.

В бактериальной клетке есть плазматическая мембрана, но отсутствуют вакуолярная система, митохондрии и хлоропласты. Ферменты дыхания и пигменты фотосинтеза располагаются на выростах плазматической мембраны. У бактерий имеются рибосомы, но более мелкие, чем в клетках эукариот. Снаружи клетки прокариот окружены прочной и гибкой клеточной оболочкой. Она состоит из особого вещества — муреина и определяет форму клетки, выполняет защитную функцию. Органы передвижения бактерий — жгутики, отличающиеся по строению от жгутиков эукариот.

Из-за отсутствия ядра бактерии неспособны к митозу. Размножаются путём простого деления клетки пополам. Кольцевая ДНК прикрепляется к мембране и удваивается. Расхождение дочерних ДНК (новых хромосом) по двум клеткам происходит за счёт роста мембраны.

### РАЗНООБРАЗИЕ БАКТЕРИЙ ПО СПОСОБАМ ПИТАНИЯ И ПОЛУЧЕНИЯ ЭНЕРГИИ

Бактерии могут получать энергию как путём дыхания, так и на основе брожения. Среди них обнаружены анаэробы — организмы, для которых даже незначительное содержание кислорода в среде губительно. Среди прокариот есть автотрофы и гетеротрофы (сапротрофы и паразиты).



Древнейшие фотосинтезирующие организмы — цианобактерии. Они распространены в пресноводных водоёмах. Их скопления можно увидеть невооружённым глазом в виде корочек и плёнок на поверхности почвы, камнях и в зоне прибойя. Они играли главную роль в обогащении атмосферы кислородом на ранних этапах эволюции жизни на Земле.

Особая группа автотрофных бактерий — хемотрофы. Они способны синтезировать органические вещества в процессе хемосинтеза, т.е. используя углекислый газ и энергию, получаемую при окислении неорганических соединений (железа, серы, сероводорода и др.).

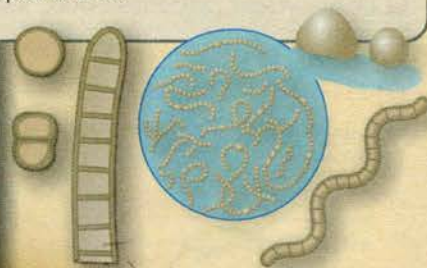


В отличие от эукариот, многие прокариоты способны усваивать молекулярный азот атмосферы ( $N_2$ ) и переводить его в доступную для растений форму ( $NH_4^+$ ). Это очень важный процесс. По планетарному значению он сопоставим с фотосинтезом.

**ЗНАЧЕНИЕ БАКТЕРИЙ** Бактерии обитают повсюду: в воздухе, воде, почве. Многие из них разрушают сложные органические соединения до более простых, которые могут усваиваться растениями и таким образом вновь вовлекаться в круговорот веществ. Деятельность бактерий как редуцентов способствует формированию плодородного слоя почвы.

Бактерии — возбудители инфекционных болезней человека, животных и растений. У человека они могут стать причиной многих заболеваний. Для борьбы с инфекционными заболеваниями используют вакцины и сыворотки. Отрицательная роль бактерий заключается также в порче пищевых продуктов.

В отличие от остальных бактерий, среди цианобактерий имеются не только одноклеточные, но и нитчатые и колониальные организмы.



**Виноградский**  
**Сергей Николаевич**  
1856–1953

Русский учёный, основатель эколого-физиологического направления в микробиологии. Впервые описал процесс усвоения свободного молекулярного азота ( $N_2$ ) почвенными бактериями и провёл исследования по экологии почвенных микроорганизмов.

### ВОПРОСЫ:

- Каково строение клетки прокариот?
- Как размножаются бактерии?
- Какие процессы в природе осуществляют только прокариоты?
- Каким образом бактерии способствуют повышению плодородия почв?
- В чём заключается значение бактерий для человека?

**ВЫ УЗНАЕТЕ:**

- О строении и размножении вирусов.
- О вирусных заболеваниях человека.

**ВСПОМНИТЕ:**

- Строение и функции белков и нуклеиновых кислот.



**Ивановский**  
Дмитрий Иосифович  
1864–1920

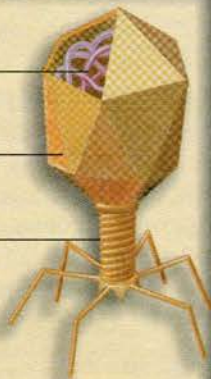
Русский физиолог растений и микробиолог. Доказал инфекционность мозаичной болезни табака, открыв новый тип возбудителя, названный впоследствии вирусом.

Палочковидная форма капсида характерна для вирусов растений, например вируса табачной мозаики. Для вирусов человека и животных характерна сферическая форма.

Нуклеиновая кислота

Белковая оболочка

Хвостовой отросток



1.28. Строение бактериофага

**ВИРУСЫ**

**Вирусы** (лат. *virus* — яд) — неклеточная форма жизни. Они занимают пограничное положение между живой и неживой материей. В природе существует огромное разнообразие вирусов.

**ВИРУСЫ — НЕКЛЕТОЧНАЯ ФОРМА ЖИЗНИ** Установлено, что вирусы не имеют клеточного строения и являются внутриклеточными паразитами. Они проявляют свойства живого, только попадая в клетку и включаясь в её обмен веществ. В клетке вирусы способны к размножению, передаче своих свойств по наследству из поколения в поколение, изменению наследственных признаков. Однако размножение вирусов — это особый способ воспроизведения, основанный на сборке вирусных частиц внутри клетки.

Вне клетки вирусы (их называют вирионами) неактивны и существуют в кристаллической форме. Попадая в живые клетки, вирионы переходят в активную форму и вызывают заболевания.

Каждый вид вируса имеет строго определённого хозяина: клетку человека, животного, растения, гриба, бактерии.

**СТРОЕНИЕ ВИРУСОВ** Вирусы имеют простое строение. Каждая вирусная частица представляет собой нуклеиновую кислоту (ДНК или РНК), заключённую в белковую оболочку — капсид (лат. *capsa* — футляр). Капсид состоит из молекул белка, уложенных по спирали или в виде многогранника, что определяет форму вируса (палочковидная или сферическая). Капсид защищает нуклеиновую кислоту от неблагоприятных факторов внешней среды. На его поверхности расположены белки-рецепторы, с помощью которых вирусная частица узнаёт клетку-хозяина.



Некоторые вирусы, например ВИЧ, имеют внешнюю липопротеидную мембрану, «украденную» у клетки хозяина. Поэтому при попадании этого вируса в организм не происходит иммунной реакции.

Наиболее сложное строение имеют вирусы бактерий — **бактериофаги**.



Процесс взаимодействия вируса с клеткой имеет несколько стадий. Сначала он закрепляется на поверхности клетки, а затем проникает в неё путём растворения покровов или впрыскивания нуклеиновой кислоты внутрь клетки. Белковый капсид остаётся снаружи. В клетке синтезируются нуклеиновая кислота вируса и белки капсида, происходит сборка вирусных частиц. В результате в одной клетке образуется большое число (иногда тысячи) вирусов.



### ВИРУСНЫЕ ЗАБОЛЕВАНИЯ

Вирусы — наиболее распространённые возбудители заболеваний человека, животных и растений. Вирусную природу имеют такие опасные инфекции, как оспа, корь, гепатит, бешенство, полиомиелит, СПИД и др. Очень опасным заболеванием является грипп. Несмотря на усилия исследователей, эта инфекция до сих пор не может считаться побеждённой.

Возбудитель СПИДа — вирус иммунодефицита человека (ВИЧ) — прикрепляется к поверхности клеток, которые содержат определённый мембранный белок — антиген. Такой поверхностный антиген содержат Т-лимфоциты (хелперы). Они играют важную роль в координации всей иммунной системы человека. У здорового человека в 1 мл крови содержится 600–800 хелперов. Примерно к девятому месяцу после заражения их число постепенно снижается. Возникает хроническое воспаление и увеличение лимфатических узлов. При снижении числа хелперов вдвое возрастает заражаемость организма различными инфекциями. Когда число хелперов падает ниже 50 на 1 мл, проявляется иммунодефицит (на коже, слизистых оболочках возникают грибковые поражения). Человек умирает от инфекций, которые для здорового организма совсем не опасны.

Самый надёжный способ предотвращения заболевания СПИДом — отказ от наркотиков, целомудрие до брака и супружеская верность.

Существует три типа протекающих вирусных инфекций. Первый заканчивается формированием зрелых вирусных частиц. При втором типе воспроизведение вирусов прерывается и не завершается из-за повышения температуры организма хозяина или синтеза клетками защитных белков. При третьем — генетический материал вируса встраивается в ДНК клетки хозяина и становится её частью.

Единой точки зрения на происхождение вирусов нет. Одни учёные считают их обособившимися фрагментами клеток, «одичавшими генами». Другие (их большинство) предполагают, что вирусы — результат дегенерации клеток (упрощения их строения и функций) в связи с переходом к паразитическому образу жизни.

### ВОПРОСЫ:

- По каким признакам вирусы можно отнести к живым организмам, а по каким — к неживым объектам?
- Какое строение имеют вирусы?
- Как происходит размножение вирусов?
- Какие заболевания человека имеют вирусную природу?
- Чем опасен ВИЧ?

## ПОДВЕДЁМ ИТОГИ

- Все живые существа, населяющие нашу планету, состоят из клеток. Клетка — самая маленькая единица организма, граница его делимости, вне которой нет жизни.
- Клетка — целостная живая система. В ней содержится несколько тысяч разных видов соединений (органических и неорганических). Важнейшие органические соединения — белки, нуклеиновые кислоты, АТФ, углеводы, липиды.
- Клетки поразительно разнообразны по размерам, форме, внутреннему строению, но все они содержат ядро и цитоплазму. Цитоплазма в клетках эукариот включает клеточные органеллы, имеющие сложное строение и выполняющие определённые функции.
- Клетка — открытая система. В ней происходят биохимические реакции и основные процессы жизнедеятельности, обеспечивающие обмен веществ с внешней средой.
- Клетка способна к самовоспроизведению. В основе размножения организмов, их роста и развития лежит деление клеток. Каждый многоклеточный организм развивается из одной-единственной клетки — зиготы. Заложённая в зиготе наследственная информация реализуется в ходе индивидуального развития организма.

### ВОПРОСЫ ДЛЯ ОБСУЖДЕНИЯ:

- О чём свидетельствуют сходство и различия в строении клеток прокариот и эукариот?
- Почему для будущего ребёнка очень важно, чтобы мать вела здоровый образ жизни?
- Что имеют в виду учёные, когда определяют вирусы как «вещества, имеющие признаки существа, и существа со свойствами вещества»?



## ГЛАВА II

# ОСНОВНЫЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ НАСЛЕДСТВЕННОСТИ



Испокон веков человек стремился узнать, почему от каждого живого организма рождается ему подобный и почему при этом не наблюдается абсолютного сходства родителей и потомства. Теперь очевидно, что сходство родителей и потомков определяется наследственностью, а их отличительные особенности — изменчивостью. Изучением этих важнейших свойств живых организмов занимается генетика (греч. *genesis* — происхождение).

**ВЫ УЗНАЕТЕ:**

- Об идее, на которой основывается генетика.
- О законах наследственности.

**ВСПОМНИТЕ:**

- Строение цветка бобовых растений.
- Чем перекрёстное опыление отличается от самоопыления?
- Примеры доминантных признаков человека.



**Мендель Грегор**  
1822–1884

Основатель учения о наследственности. Был настоятелем монастыря в г. Брно (Чехия). Провёл опыты по гибридизации сортов гороха. В работе «Опыты над растительными гибридами» (1865) обосновал основные закономерности наследования признаков.

## ЗАКОНОМЕРНОСТИ НАСЛЕДСТВЕННОСТИ. ПЕРВЫЙ И ВТОРОЙ ЗАКОНЫ МЕНДЕЛЯ

Долгое время существовало представление, что при скрещивании наследуются признаки. При этом у потомства они могут смешиваться, разбавляться. Г. Мендель доказал, что происходит наследование материальных частиц, ответственных за проявление тех или иных признаков.

**ИДЕЯ ДИСКРЕТНОЙ НАСЛЕДСТВЕННОСТИ**

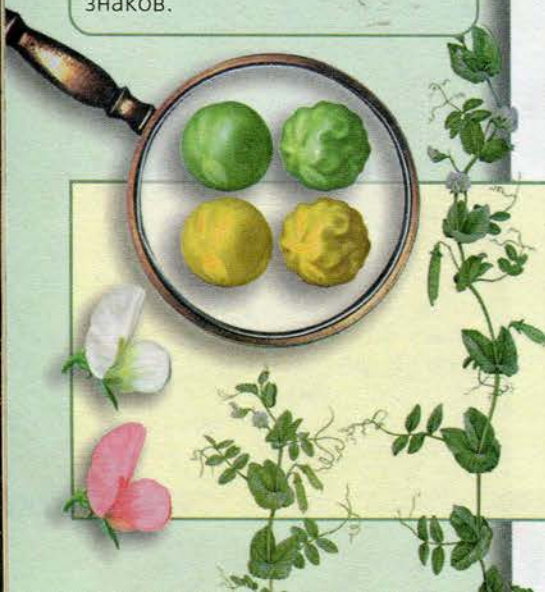
Общее свойство организмов сохранять и передавать особенности строения и функций от предков потомству называют **наследственностью**. Наследственность реализуется в процессе **наследования** — передачи генетической информации от одного поколения организмов к другому. Важный шаг в познании закономерностей наследственности сделал выдающийся австрийский исследователь Грегор Мендель. Ведущей в учении Менделя была идея **дискретной наследственности** (лат. *discretus* — разделённый), согласно которой развитие признаков определяется отдельными материальными единицами. Г. Мендель назвал их факторами наследственности (теперь их называют генами).

**ГИБРИДОЛОГИЧЕСКИЙ МЕТОД**

Руководствуясь идеей дискретной наследственности, Г. Мендель разработал **гибридологический метод исследования**. Суть его заключается в гибридизации (скрещивании) организмов. Потомство от скрещивания двух особей, обладающих различными наследственными признаками, называют **гибридами**.

В качестве основного объекта исследования Г. Мендель выбрал сорта гороха посевного.

Сорта гороха характеризуются противоположным проявлением определённых признаков: высота стебля, окраска и особенности поверхности семян и др. Цветок гороха приспособлен к самоопылению, что важно для чистоты экспериментов. Растения гороха, отобранные для скрещиваний, воспроизводили одни и те же наследственные признаки, представляли собой так называемые чистые линии.



**ПЕРВЫЙ ЗАКОН МЕНДЕЛЯ** Опыты по скрещиванию Г. Мендель начал с родительских форм гороха, отличающихся одним признаком. Такое скрещивание называют **моногибридным**.

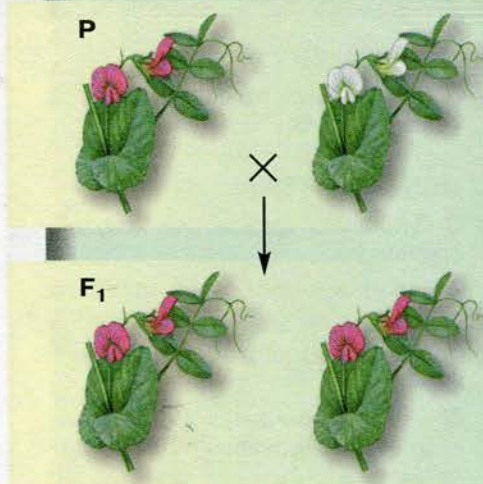
Чтобы выяснить, как наследуется признак, Г. Мендель проводил искусственное опыление растений с определённым признаком пыльцой, собранной с растений, обладающих противоположным признаком. У всех полученных от такого скрещивания гибридов первого поколения проявился признак одного из родителей. В этом состоит установленный Г. Менделем **закон доминирования**, или **единообразия гибридов первого поколения (первый закон Менделя)**. Признак, проявляющийся у гибридов первого поколения, Г. Мендель назвал **доминантным**, а признак, который не проявляется, — **рецессивным**.

**ВТОРОЙ ЗАКОН МЕНДЕЛЯ** Из гибридных семян гороха Г. Мендель вырастил растения, которые дали семена второго поколения. В потомстве гибридов появились растения как с доминантным, так и с рецессивным признаком в определённых численных соотношениях.

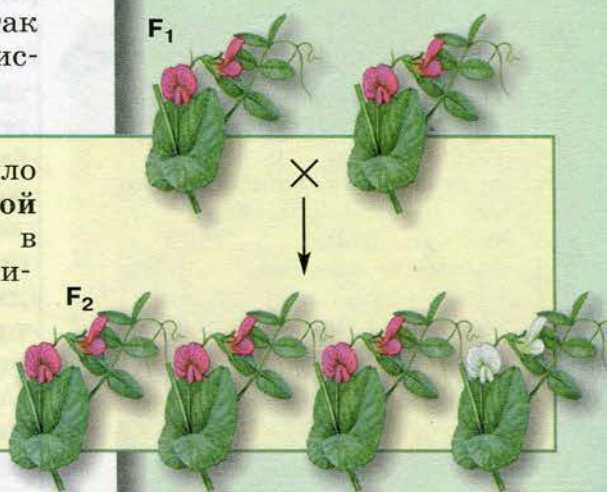
Обобщение данных опытов позволило Г. Менделю сформулировать **второй закон**, или **закон расщепления**: в потомстве, полученном от скрещивания гибридов первого поколения, наблюдается явление расщепления:  $1/4$  часть особей из гибридов второго поколения несёт рецессивный признак,  $3/4$  — доминантный.

Растения второго поколения, обладавшие рецессивным признаком, не обнаруживали расщепления в последующих поколениях.

Анализ гибридов второго поколения, имеющих доминантный признак, показал, что  $1/3$  растений в дальнейшем также не давала расщепления, а  $2/3$  были подобны гибридам второго поколения и давали расщепление в том же соотношении —  $3:1$ . Особи, не дающие расщепления в потомстве и сохраняющие свои признаки в чистом виде, называют **гомозиготными** по данному признаку (греч. *homos* — равный). Особей, в потомстве которых обнаруживается расщепление, называют **гетерозиготными** по данному признаку (греч. *heteros* — разный).



2.1. Опыты Менделя по моногибридному скрещиванию



### ВОПРОСЫ:

- Какова ведущая идея в учении Менделя?
- В чём заключаются особенности гибринологического метода, предложенного Г. Менделем?
- Какие законы были открыты Г. Менделем в экспериментах по моногибридному скрещиванию? Дайте их определения.
- Чем гомозиготные особи отличаются от гетерозиготных?



**ВЫ УЗНАЕТЕ:**

- О гипотезе, объясняющей законы Менделя.

**ВСПОМНИТЕ:**

- Принципы дискретной наследственности.
- Закон единообразия первого поколения гибридов.
- Закон расщепления в потомстве гибридов.
- В чём заключается суть неполного доминирования и его примеры.

В 1906 г. английский учёный Уильям Бэтсон предложил термин «генетика» (лат. *geneticos* — относящийся к происхождению или *genos* — род, рождение, происхождение). В 1909 г. датский генетик Вильгельм Иогансен предложил термины «ген», «генотип», «фенотип».

Схема получения гибридов первого поколения при моногибридном скрещивании гороха:

P	♀ AA	×	♂ aa
		↓	
G	A		a
		↓	
F <sub>1</sub>	Aa		

## ОБЪЯСНЕНИЕ ЗАКОНОВ МЕНДЕЛЯ С ПОЗИЦИЙ ГИПОТЕЗЫ ЧИСТОТЫ ГАМЕТ

Г. Мендель пытался выяснить, почему при гибридизации не возникает стойких гибридов, а наблюдается расщепление в строго определённых численных соотношениях.

**ГИПОТЕЗА ЧИСТОТЫ ГАМЕТ**

Современная наука объясняет расщепление в потомстве гибридов с позиций знаний о мейозе и оплодотворении. Но во времена Г. Менделя механизм и биологический смысл мейоза не были известны. Поэтому Г. Мендель, пытаясь объяснить полученные им данные, предложил гипотезу чистоты гамет. В этой гипотезе идея о дискретных факторах наследственности (генах) получила дальнейшее развитие.

**ПОЛОЖЕНИЯ ГИПОТЕЗЫ ЧИСТОТЫ ГАМЕТ**

- Связь между поколениями при половом размножении осуществляется через половые клетки (гаметы). Они несут материальные наследственные факторы, которые определяют развитие отдельных признаков.
- Развитие каждого признака контролируется двумя факторами (доминантным и рецессивным), полученными от отцовской и материнской форм.
- Половые клетки чисты: в каждую из них попадает только по одному фактору из каждой пары.
- В результате случайного сочетания гамет при оплодотворении гетерозиготная особь будет иметь и доминантный, и рецессивный факторы, но в силу доминирования внешне гибридные особи будут выглядеть одинаково.
- Рецессивный фактор в клетке сохраняется, что приводит в следующем поколении к его внешнему проявлению.

**ОБЪЯСНЕНИЕ ПЕРВОГО ЗАКОНА МЕНДЕЛЯ**

Гомозиготные особи (родители) несут два одинаковых фактора наследственности. Согласно гипотезе чистоты гамет гаметы родителей содержат по одному фактору наследственности. В результате оплодо-

творения в зиготе оказываются оба фактора — доминантный и рецессивный. Поскольку доминантный фактор подавляет действие рецессивного, всё гибридное поколение единообразно.

**ОБЪЯСНЕНИЕ ВТОРОГО ЗАКОНА МЕНДЕЛЯ** У гибридных родительских форм образуется два сорта гамет, так как согласно гипотезе чистоты гамет в каждую гамету попадает по одному фактору (гену). Случайное сочетание женских и мужских гамет при оплодотворении приведёт к образованию следующих комбинаций: AA:2Aa:aa. Проявится закон расщепления.



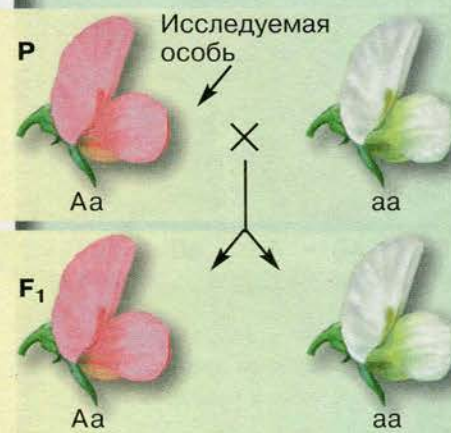
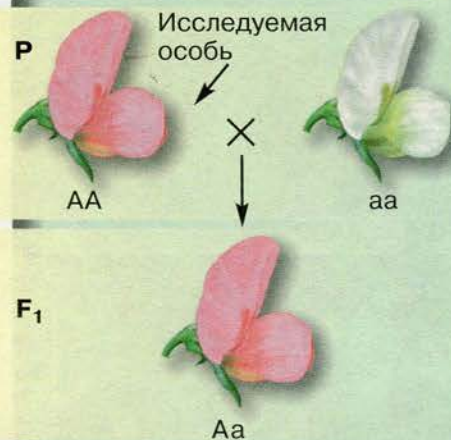
Гомозиготы не дают расщепления в потомстве, так как образуют один сорт гамет. Гетерозиготы образуют два сорта гамет, и поэтому в их потомстве расщепление наблюдается.

С позиций гипотезы чистоты гамет становится понятным, почему в третьем и последующих поколениях одни особи, обладающие доминантным признаком, дают расщепление, а другие нет. Дело в том, что 1/3 часть особей, несущих доминантный признак, представляют собой гомозиготы, 2/3 особей являются гетерозиготами. У них возникают гаметы двух сортов, что и обуславливает расщепление в потомстве. Чтобы определить генотип гибридной особи, используют **анализирующее скрещивание**. Исследуемый гибрид скрещивается с рецессивной гомозиготой, и если в потомстве наблюдается расщепление, то это говорит, что исследуемая особь — гетерозигота.

**ГЕНОТИП И ФЕНОТИП. НЕПОЛНОЕ ДОМИНИРОВАНИЕ** Из законов Менделя вытекает, что особи, имеющие сходные внешние признаки, могут отличаться комбинациями наследственных факторов — генов. Совокупность всех генов организма носит название **генотипа**. Совокупность всех признаков организма составляет его **фенотип**.

Явление доминирования приводит к тому, что при одинаковом фенотипе особи могут обладать различными генотипами. Доминирование может быть неполным. Признаки гибридов в этом случае имеют промежуточный характер. В результате гетерозиготы отличаются от гомозигот по фенотипу.

Схема получения гибридов второго поколения при моногибридном скрещивании:

$$\begin{array}{l} P \quad \text{♀} Aa \times \text{♂} Aa \\ \quad \quad \quad \downarrow \\ G \quad A \ a \quad A \ a \\ \quad \quad \quad \downarrow \\ F_1 \quad AA, Aa, Aa, aa \end{array}$$


## 2.2. Анализирующее скрещивание

### ВОПРОСЫ:

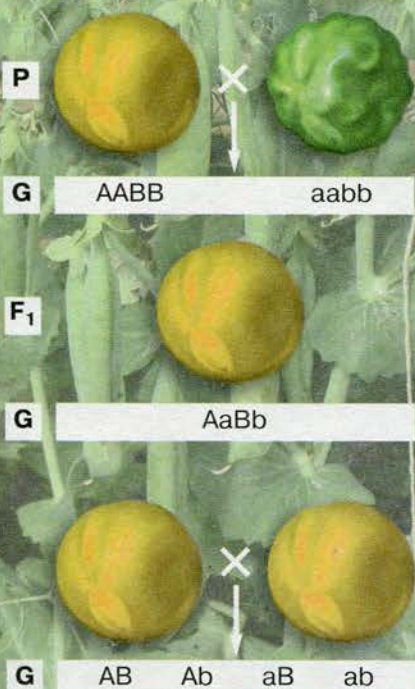
- Назовите положения гипотезы чистоты гамет.
- Произойдёт ли в потомстве гетерозиготных особей расщепление? Ответ обоснуйте.

**ВЫ УЗНАЕТЕ:**

● О дигибридном скрещивании и третьем законе Менделя.

**ВСПОМНИТЕ:**

- В чём заключаются различия гомо- и гетерозигот.
- Положения гипотезы чистоты гамет.



2.3. Дигибридное скрещивание

2.4. Наследование окраски и характера поверхности семян у гороха в F<sub>2</sub> при дигибридном скрещивании

















## ДИГИБРИДНОЕ СКРЕЩИВАНИЕ. ТРЕТИЙ ЗАКОН МЕНДЕЛЯ

Выведя закономерности наследования при моногибридном скрещивании, Г. Мендель перешёл к изучению наследования двух и более пар признаков и установил закон независимого комбинирования признаков.

**ТРЕТИЙ ЗАКОН МЕНДЕЛЯ**

При дигибридном скрещивании растения гороха различались по двум парам признаков. В первом поколении проявился закон единообразия гибридов. Во втором поколении наблюдалось расщепление с появлением новых фенотипов. Вместо двух исходных возникло четыре фенотипа, два из которых имели перекombинированные признаки. Отношение фенотипов было близким к 9:3:3:1.

Рассмотрим ход дигибридного скрещивания с позиций гипотезы чистоты гамет. Исходные родительские формы имели генотипы **AABB** и **aabb**. Такие организмы называют *дигомозиготными*, т.е. гомозиготными по двум парам признаков. Согласно гипотезе чистоты гамет половые клетки чисты — несут по одному фактору (гену) из каждой пары. В результате скрещивания все особи F<sub>1</sub> имеют одинаковый генотип — **AaBb** — и являются *дигетерозиготными*. Возможные сочетания гамет при скрещивании дигетерозигот между собой можно изобразить в виде решётки Пеннета.

♀ \ ♂	AB	Ab	aB	ab
AB	<b>AABB</b> 	<b>AABb</b> 	<b>AaBB</b> 	<b>AaBb</b> 
Ab	<b>AABb</b> 	<b>AAbb</b> 	<b>AaBb</b> 	<b>Aabb</b> 
aB	<b>AaBB</b> 	<b>AaBb</b> 	<b>aaBB</b> 	<b>aaBb</b> 
ab	<b>AaBb</b> 	<b>Aabb</b> 	<b>aaBb</b> 	<b>aabb</b> 



Растениям гороха, обладающим жёлтыми гладкими семенами, соответствуют четыре генотипа. Растения с жёлтыми морщинистыми семенами представлены двумя генотипами. Два генотипа соответствуют фенотипу с зелёными гладкими семенами. Растения с рецессивными признаками представлены одним генотипом. Таким образом, общее число различных генотипов во втором поколении гибридов ( $F_2$ ) превышает число фенотипов и оказывается равным девяти.

### ЗАКОН НЕЗАВИСИМОГО КОМБИНИРОВАНИЯ ПРИЗНАКОВ

Если учитывать результаты расщеплений по каждой паре противоположных признаков в отдельности (только по жёлтому и зелёному цвету или только по гладкой и морщинистой поверхности семян), то можно заметить, что соотношение, характерное для моногибридного скрещивания, сохраняется. Так, во втором поколении отношение жёлтых семян к зелёным и гладких к морщинистым равняется 12:4 (3:1). Таким образом, дигибридное скрещивание представляет собой два независимо идущих моногибридных, которые как бы накладываются друг на друга, идут параллельно. Это может быть выражено в виде формулы  $(3 + 1)^2 = 9+3+3+1$ .



Третий закон Менделя утверждает: каждая пара противоположных признаков ведёт себя в ряду поколений независимо друг от друга, в результате чего среди потомков второго поколения в определённом соотношении появляются особи не только с родительским сочетанием признаков, но и с их новыми комбинациями.

Законы Менделя носят вероятностный характер. Это означает, что соотношения 3:1, 9:3:3:1 будут выполняться тем точнее, чем больше потомков будет учтено при подсчёте.

Законы Менделя применимы к объяснению и более сложных случаев расщепления, когда исходные родительские формы различаются по трём, четырём и большему числу признаков. В основе всегда будет лежать расщепление моногибридного скрещивания в отношении 3:1 (при наличии доминирования). Для тригибридов это будет  $(3:1)^3$ , для полигибридов  $(3:1)^n$ .



AABB  
AABb  
AaBB  
AaBb



AAbb  
Aabb



aaBB  
aaBb



aabb

Учение Менделя не было понято и принято современниками. Спустя 35 лет после выхода работы Г. Менделя его законы были переоткрыты одновременно тремя учёными — Эрихом Чермаком в Австрии, Гуго де Фризом в Голландии и Карлом Корренсом в Германии. Научный мир был поражён красотой экспериментов Г. Менделя и точностью его расчётов. Наука о наследственности и изменчивости стала успешно развиваться.

### ВОПРОСЫ:

- Что утверждает третий закон Менделя?
- Томат с круглыми (А) красными (В) плодами скрещён с томатом с грушевидными (а) жёлтыми (b) плодами. В потомстве все растения дали круглые красные плоды. Каковы генотипы родителей и гибридов?

**ВЫ УЗНАЕТЕ:**

● О выдающемся обобщении генетики первой четверти XX в.

**ВСПОМНИТЕ:**

- В чём состоит биологический смысл мейоза?
- Различия хромосомных наборов соматических и половых клеток.

Предпосылками возникновения хромосомной теории наследственности послужили данные о механизмах мейоза и оплодотворения, понимание их биологического смысла. Выяснено, что гаметы несут только одну из двух гомологичных хромосом. В результате оплодотворения двойной набор восстанавливается. В случае изменения числа хромосом наблюдаются нарушения в онтогенезе.

Термины «аллель», «аллельные гены» (греч. *allêlôn* — друг друга, взаимно) ввёл датский генетик Вильгельм Иогансен (1909).

## ХРОМОСОМНАЯ ТЕОРИЯ НАСЛЕДСТВЕННОСТИ. ЦИТОЛОГИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ЗАКОНОВ МЕНДЕЛЯ

Хромосомная теория наследственности в первой четверти XX в. пришла на смену учению Менделя. Она дала объяснение гипотезе чистоты гамет и подтвердила справедливость законов Менделя.

### ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ ХРОМОСОМНОЙ ТЕОРИИ НАСЛЕДСТВЕННОСТИ

- Преемственность поколений определяется преемственностью хромосом. Гены — участки хромосом, расположенные линейно.
- Каждая хромосома в соматической клетке имеет гомолога. Поэтому каждый ген представлен в клетке дважды. Парные, или **аллельные, гены**, обуславливающие развитие доминантных и рецессивных признаков, расположены в идентичных участках гомологичных хромосом.
- В результате мейоза гомологичные хромосомы попадают в разные гаметы. Поэтому аллельные гены оказываются в разных половых клетках, т.е. половые клетки чисты, в них содержится ген, обуславливающий развитие либо доминантного, либо рецессивного признака (цитологическое обоснование гипотезы чистоты гамет).
- **Неаллельные гены**, локализованные в одной хромосоме, наследуются вместе, сцепленно.

Хромосомная теория наследственности развивает идею о дискретных наследственных факторах (генах), так как доказывает, что они являются участками хромосом. По сравнению с учением Менделя эта теория является более широкой и полной. Она объясняет не только наследование парных признаков, обусловленных действием аллельных генов, но и другие явления наследования признаков.

**ЦИТОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПЕРВОГО И ВТОРОГО ЗАКОНОВ МЕНДЕЛЯ** В случае скрещивания форм гороха с жёлтой и зелёной окраской семян родительские особи были гомозиготными. Это значит, что одна из них обладала хромосомами с доминантными аллелями, а другая несла хромосомы с ре-

цессивными аллелями. Гаметы имели по одной гомологичной хромосоме и, следовательно, по одному из аллелей. При слиянии гамет восстанавливался двойной набор хромосом, а значит, объединялись разные аллели. При этом доминантный аллель подавлял действие рецессивного.

В ходе мейоза у гетерозигот гомологичные хромосомы попадают в разные гаметы. Значит, гаметы имеют по одному аллелю из данной пары. В результате случайного сочетания мужских и женских гамет при оплодотворении может возникнуть ситуация, когда в зиготе окажутся гомологичные хромосомы, несущие только рецессивные аллели. Это приведёт к проявлению рецессивного признака.

#### ЦИТОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ТРЕТЬЕГО ЗАКОНА

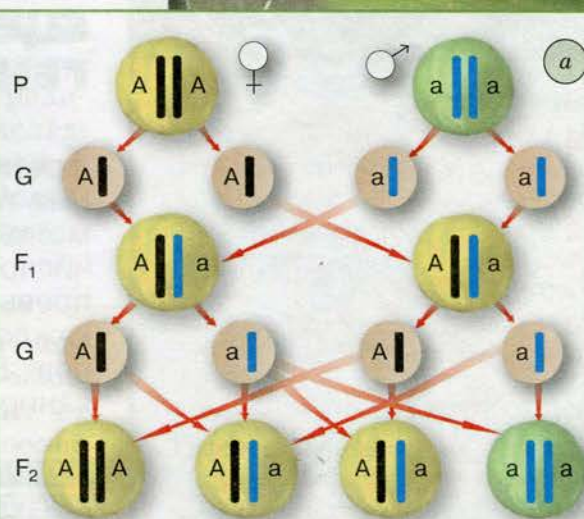
**МЕНДЕЛЯ** В разных парах гомологичных хромосом расположены разные пары аллельных генов. Так, например, в паре длинных хромосом находятся гены окраски семян  $A$  и  $a$ , в коротких хромосомах — гены  $B$  и  $b$ , обуславливающие характер поверхности семян. В результате мейоза в гаметы попадает по одной гомологичной хромосоме из каждой пары и, следовательно, по одному аллельному гену. При оплодотворении восстанавливается диплоидный набор хромосом и образуется дигетерозигота ( $AaBb$ ).



У дигетерозигот разные пары аллельных генов также расположены в разных парах гомологичных хромосом.

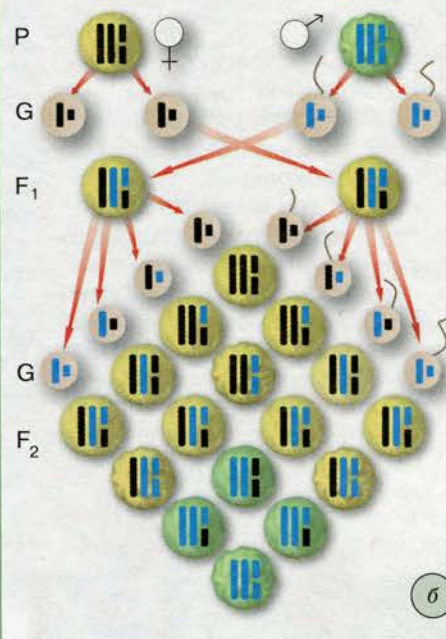
При мейозе у них равновероятно образование 4 сортов гамет, так как расхождение одной пары хромосом идёт независимо от другой пары.

Если во время мейоза к одному полюсу клетки отходит чёрная длинная хромосома, несущая ген  $A$ , то из другой пары в ту же гамету может попасть как чёрная короткая с геном  $B$ , так и синяя короткая с геном  $b$ . Поэтому сколько будет гамет  $AB$ , столько же и гамет  $Ab$ . Сочетание четырёх типов мужских и женских гамет приведёт к образованию 9 генотипов и 4 фенотипов. При этом в фенотипах потомков будет не только родительское сочетание признаков, но и новые их комбинации.



2.5. Цитологическое обоснование законов Менделя:

а) первого и второго; б) третьего



#### ВОПРОСЫ:

- Сформулируйте основные положения хромосомной теории наследственности.
- Как объяснила хромосомная теория наследственности законы Менделя?

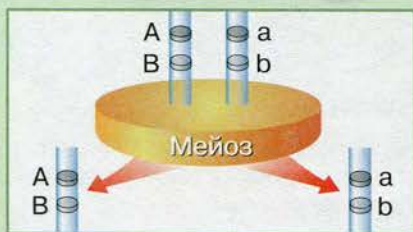
**ВЫ УЗНАЕТЕ:**

- Как наследуются гены, расположенные в одной из гомологичных хромосом.
- К каким последствиям приводит перекрёст хромосом в процессе мейоза.
- Что представляют собой генетические карты.

**ВСПОМНИТЕ:**

- Какое скрещивание называют анализирующим?
- Что происходит с хромосомами в профазе мейоза I?

Плодовая мушка дрозофила — удобный объект генетических исследований. Она легко выращивается в лабораторных условиях. Каждые 10–15 дней даёт новое поколение. В диплоидном наборе имеет всего четыре пары хромосом. У дрозофилы обнаружены многочисленные наследственные отклонения. Мушки дикого (нормального) типа имеют серое тело (при рассмотрении невооружённым глазом, коричневое — при рассмотрении с увеличением), нормально развитые крылья, красные глаза.



**2.6. Расположение сцепленных генов в гомологичных хромосомах**

## СЦЕПЛЕННОЕ НАСЛЕДОВАНИЕ ГЕНОВ

Третий закон Менделя основан на том, что разные пары аллелей находятся в разных парах гомологичных хромосом. Однако известно, что число генов у каждого организма значительно превышает число хромосом. Следовательно, в каждой хромосоме должно находиться много генов. Вопрос о том, как происходит их наследование, был решён Томасом Морганом.

### СЦЕПЛЕННОЕ НАСЛЕДОВАНИЕ ГЕНОВ И ЯВЛЕНИЕ ПЕРЕКРЕСТА

Т. Морган с коллегами проводил эксперименты над дрозофилой. Он обнаружил, что при скрещивании дрозофил дикого типа с мушками, обладающими тёмным телом и зачаточными крыльями, в первом поколении проявился первый закон Менделя.

У особей второго поколения независимого комбинирования признаков не наблюдалось. У мушек проявлялись преимущественно родительские фенотипы и лишь небольшое число имело перекомбинацию признаков. Можно заключить, что признаки — серое тело и нормальные крылья, тёмное тело и зачаточные крылья — наследуются преимущественно вместе, или, иначе говоря, оказываются сцепленными.

Хромосомная теория наследственности объяснила, что сцепленное наследование признаков — следствие локализации генов, ответственных за их проявление, в одной и той же хромосоме, и при мейозе особи производят два типа гамет в равных количествах: **AB**, **ab**. Случайное сочетание мужских и женских гамет при оплодотворении приводит к повторению комбинаций аллелей в хромосомах родителей.

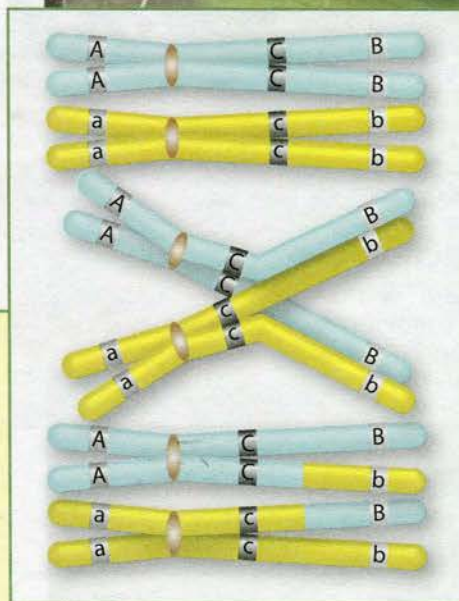
Совместное наследование неаллельных генов, линейно расположенных в одной хромосоме, носит название **закона сцепленного наследования** или **закона Моргана**. Этот закон занимает центральное положение в хромосомной теории наследственности.

Группы генов, расположенных в одной хромосоме, называют **группами сцепления**.

Сцепление генов не является абсолютным. Появление среди гибридов второго поколения небольшого числа особей с перекомбинацией родительских признаков хромосомная теория наследственности объясняет перекрестом и обменом участками хромосом в профазе мейоза I. Вследствие этого возникают качественно новые хромосомы, происходит перетасовка генов.



Частота (процент) перекрёста между неаллельными генами, локализованными в одной хромосоме, зависит от расстояния между ними: чем ближе в хромосоме расположены гены, тем реже между ними происходит кроссинговер, и наоборот. Перетасовка генов в результате перекрёста хромосом — важнейший источник наследственной изменчивости.



#### ГЕНЕТИЧЕСКИЕ КАРТЫ ХРОМОСОМ

Т. Морган и сотрудники его лаборатории показали, что, изучив явления сцепления и перекрёста, можно построить генетические карты хромосом. Они представляют собой схемы взаимного расположения генов, находящихся в одной группе сцепления.

Генетические карты созданы для многих хорошо изученных генетических объектов: кишечной палочки, дрожжей, дрозофилы, мыши, гороха, кукурузы, пшеницы, томата.

С середины 70-х гг. XX в. с целью картирования стали использоваться методы молекулярной генетики и компьютерные технологии. На сегодняшний день составлены генетические карты более 100 вирусов и большого числа бактерий. Построение детальных генетических карт относительно простых организмов создаёт фундамент для картирования хромосом человека.



В 1989 г. была принята международная программа «Геном человека». Этот глобальный проект в качестве одной из главных задач предполагает создание генетических карт хромосом человека. В настоящее время работа близится к завершению.

Построение детальных генетических карт различных объектов имеет большое значение для дальнейшего развития генетики, селекционной практики и медицины.



#### МОИ БИОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Изучите дрозофил в домашних условиях.

##### «ПОМОЩНИК»

- Поймайте несколько плодовых мушек. Их можно увидеть на гниющем луке и портящихся фруктах (винограде, яблоках).
- Рассмотрите пойманную дрозофилу в лупу. Обратите внимание на окраску глаз и тела, форму и размеры крыльев.
- Определите, самца или самку вы рассматриваете.

#### ВОПРОСЫ:

- В каких случаях гены наследуются сцепленно?
- Каковы причины и следствия кроссинговера?
- Что представляют собой генетические карты? Каково их значение?

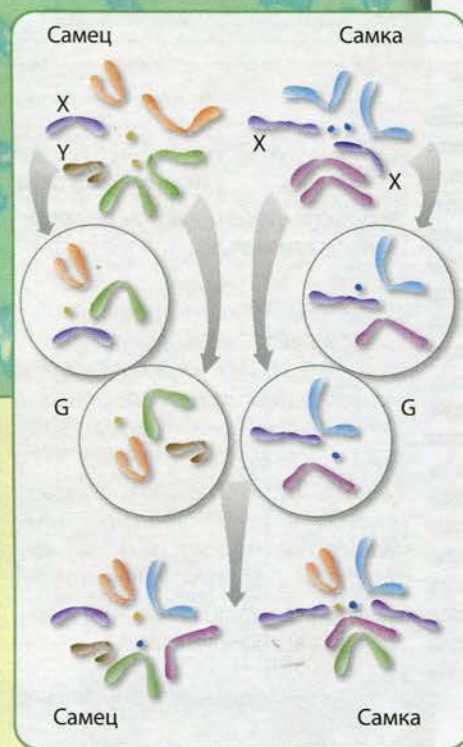


**ВЫ УЗНАЕТЕ:**

● Как хромосомная теория наследственности объясняет механизмы наследования пола.

**ВСПОМНИТЕ:**

● В чём заключаются различия гаплоидного и диплоидного наборов хромосом; гомо- и гетерозигот?



**В** природе встречается и противоположный тип определения пола. Например, у птиц, пресмыкающихся, чешуекрылых гомогаметен мужской пол, а гетерогаметен — женский.

## ХРОМОСОМНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОЛА. НАСЛЕДОВАНИЕ, СЦЕПЛЕННОЕ С ПОЛОМ

**П**ол потомков определяется в момент оплодотворения и зависит от хромосомного набора зиготы. У раздельнополых организмов соотношение между особями мужского и женского пола (при изучении большого числа особей) приближается к отношению 1:1.

### ХРОМОСОМНЫЕ РАЗЛИЧИЯ МЕЖДУ МУЖСКИМИ И ЖЕНСКИМИ ОСОБЯМИ

Хромосомный набор самцов и самок у большинства раздельнополых организмов неодинаков. Так, в соматических клетках дрозофилы имеется 4 пары хромосом. В их число входят 3 пары аутосом, идентичных у самцов и самок, и 1 пара хромосом, различных у особей мужского и женского пола. Эти хромосомы называют **половыми**.

Половые хромосомы самок одинаковы и условно обозначаются как X-хромосомы. У самцов они разные: одна хромосома такая же, как у самок, а вторая отлична от неё и обозначается как Y-хромосома. Соответственно хромосомный набор самок XX, а самцов XY.



Яйцеклетки самок дрозофилы одинаковы по хромосомному набору, в каждой из них содержится три аутосомы и одна X-хромосома. Сперматозоиды имеют одинаковый набор аутосом, но различаются половыми хромосомами: одна половина сперматозоидов несёт X-хромосому, другая — Y-хромосому. Яйцеклетка с равной вероятностью может быть оплодотворена сперматозоидом с X- или Y-хромосомой.

У человека хромосомный механизм определения пола тот же, что и у дрозофилы. Диплоидное число хромосом человека — 46, из них 22 пары аутосом и 1 пара половых хромосом. У женщин это две X-хромосомы, у мужчин X- и Y-хромосомы. Таким образом, особи женского пола образуют один сорт гамет, а особи мужского пола — два типа гамет. В этом случае можно сказать, что женский пол **гомогаметен**, а мужской — **гетерогаметен**.

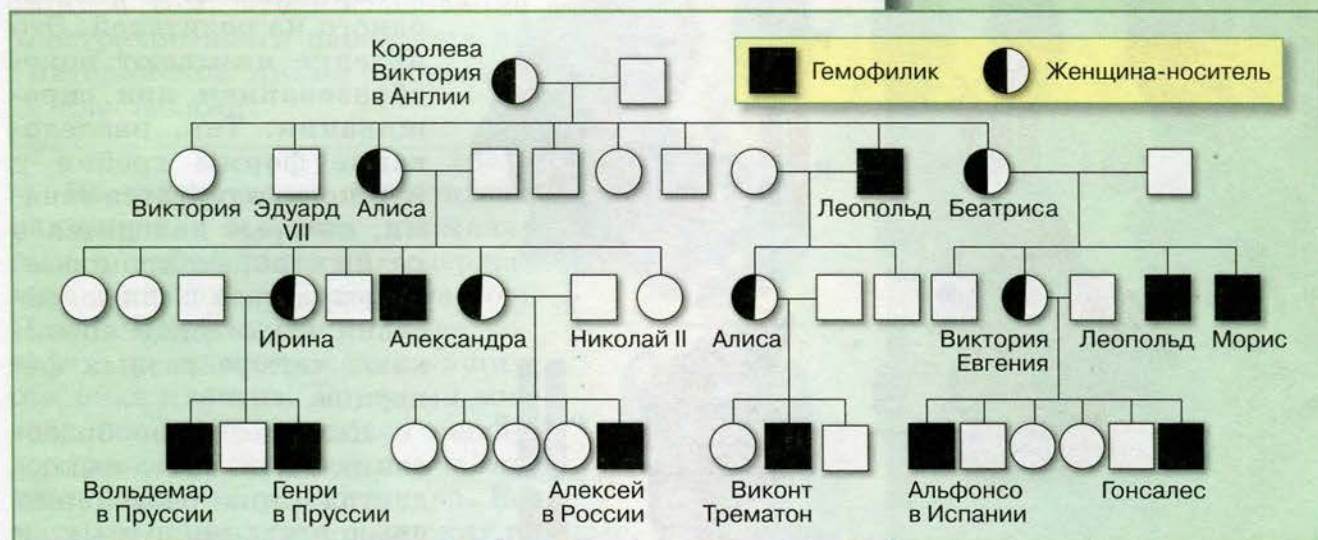
В процессе развития зиготы мужские и женские эмбрионы имеют неодинаковую выживаемость, поэтому особи одного пола погибают чаще, чем другого. В силу этого уже при рождении наблюдается некоторое отклонение от соотношения 1:1. Это так называемое вторичное изменение соотношения полов.

**НАСЛЕДОВАНИЕ, СЦЕПЛЕННОЕ С ПОЛОМ** Из опытов Г. Менделя можно заключить, что расщепление в потомстве гибридов не зависит от пола родительских особей. Хромосомная теория наследственности показала, что это положение справедливо только в тех случаях, когда гены находятся в аутосомах, одинаково представленных у обоих полов. Наследование признаков, гены которых находятся в половых хромосомах, зависит от пола родительских особей, и его называют **наследованием, сцепленным с полом**.



2.7. Изменение соотношения полов у человека

2.8. Пример наследования гемофилии



У человека к признакам, наследуемым сцепленно с полом, относят цветовую слепоту (дальтонизм), гемофилию и др.

Было выяснено, что одна из форм гемофилии обусловлена рецессивным геном ( $h$ ), сцепленным с X-хромосомой. Ген  $H$  обуславливает нормальную свёртываемость крови. Гетерозиготные женщины ( $X^H X^h$ ) — носительницы гемофилии фенотипически здоровы. Они могут передать ген  $X^h$  дочерям, но, поскольку дочери в любом случае от здорового отца получают X-хромосому с геном  $H$ , все они будут здоровы, а среди сыновей могут оказаться гемофилики.

### ВОПРОСЫ:

- Каков механизм определения пола у человека?
- Почему рождается примерно одинаковое число особей мужского и женского пола?
- Отец и сын — дальтоники. Мать различает цвета нормально. Правильно ли будет сказать, что сын унаследовал дальтонизм от отца? Ответ обоснуйте.

**ВЫ УЗНАЕТЕ:**

- Что в формировании некоторых признаков участвуют многие гены.
- О признаках, обусловленных генами, находящимися в пластидах и митохондриях.

**ВСПОМНИТЕ:**

- Каковы могут быть взаимодействия доминантных и рецессивных аллелей?
- Разнообразие пластид, их функции.

## ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ГЕНОВ. ЦИТОПЛАЗМАТИЧЕСКАЯ НАСЛЕДСТВЕННОСТЬ

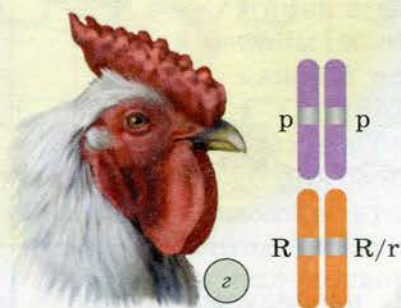
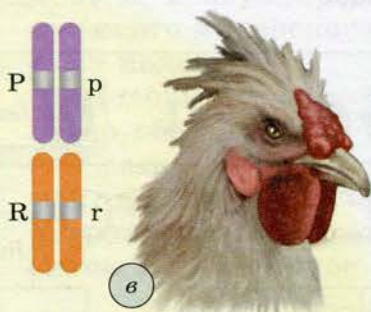
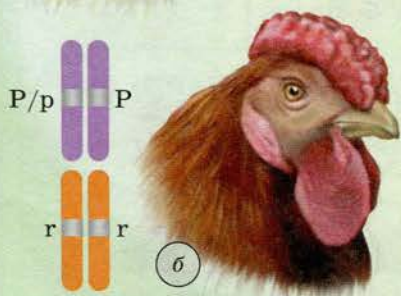
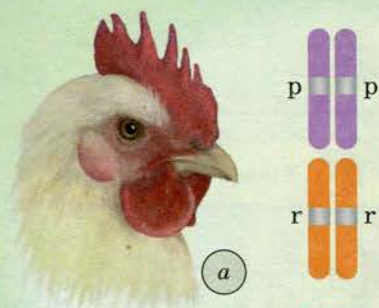
Ещё в 20-х гг. прошлого столетия многочисленные эксперименты по изучению наследования признаков, контролируемых одним основным геном, привели к очень важным обобщениям: проявление одного и того же гена может изменяться у разных организмов. Гены работают не в одиночку. Каждый из них взаимодействует не только с аллельным геном, но и со всеми другими.

**НОВООБРАЗОВАНИЯ ПРИ СКРЕЩИВАНИИ** В результате взаимодействия двух неаллельных генов в потомстве могут возникать признаки, отсутствующие у родительских форм. Действие каждого гена в отдельности воспроизводит признак одного из родителей. Это явление называют **новообразованием при скрещивании**.

Так, наследование формы гребня у кур контролируется генами, которые находятся в разных парах хромосом. В результате взаимодействия этих генов возникают четыре разных фенотипа.

Явление новообразования очень часто наблюдается при разведении домашних животных и выращивании культурных растений.

**МНОЖЕСТВЕННОЕ ДЕЙСТВИЕ ГЕНА** Наряду с формированием признака под влиянием нескольких генов существует и противоположное явление, когда один ген способен оказывать влияние на работу многих генов и формирование большого числа признаков. Такое действие гена на процессы развития признаков называют **множественным**. Так, у дрозофилы известен ген, который одновременно определяет форму и расположение крыльев, их жилкование, строение лапок, цвет глаз, брюшка и ещё ряд признаков.



2.9. Формы гребня у кур:  
а) простой; б) гороховидный;  
в) ореховидный; г) розовидный

2.10. Множественное действие гена у дрозофилы



Основная причина множественного действия гена — это его раннее включение в ходе индивидуального развития, в результате чего многие процессы, протекающие позднее, испытывают на себе влияние данного гена.

**ЦИТОПЛАЗМАТИЧЕСКАЯ НАСЛЕДСТВЕННОСТЬ** До сих пор речь шла о наследовании генов, расположенных в хромосомах ядра. Наряду с этим существует внехромосомная наследственность, обусловленная генами, находящимися в структурах цитоплазмы, в частности в пластидах.



У растения ночная красавица есть экземпляры, имеющие побеги с полностью зелёными листьями и побеги с пёстрыми листьями. При различных вариантах скрещивания были получены результаты, свидетельствующие о том, что наследование пестролистности передаётся по материнской линии и связано с пластидами.

Пестролистность обусловлена наличием в клетках нормальных и дефектных, не содержащих хлорофилла, хлоропластов. Пятнистые участки листьев состоят из клеток, содержащих оба вида пластид. Во время митоза они распределяются между дочерними клетками случайно, независимо от деления ядра. Если материнская клетка содержит и белые, и зелёные пластиды, то дочерние клетки могут получить как зелёные пластиды, так и белые или белые и зелёные. Это зависит от того, где пройдёт новая клеточная стенка. Если клетка содержит пластиды лишь одного типа, то все её дочерние клетки будут содержать пластиды этого же типа. Пластиды в зиготу попадают в основном с яйцеклеткой. Спермий почти не содержит цитоплазмы, а значит, и пластид. Поэтому наблюдается преимущественно материнское наследование.

К настоящему времени описано довольно много различных явлений, связанных с передачей наследственных признаков посредством не только пластид, но и митохондрий.

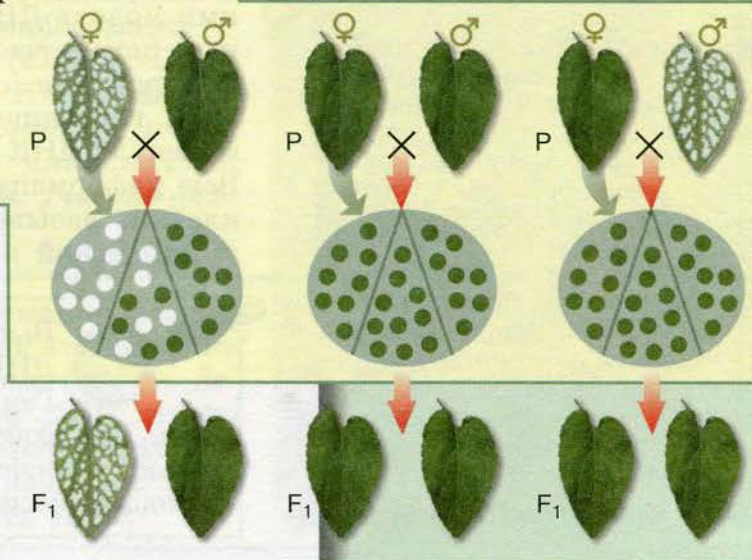


### МОИ БИОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Понаблюдайте за множественным действием гена у растений.

#### «ПОМОЩНИК»

- В летний период рассмотрите растения одного вида с различной окраской цветков (астры, львиный зев, георгины).
- Выясните, как сочетается оттенок окраски стеблей и листьев с определённой окраской цветков.
- Сформулируйте вывод о причинах этого явления.



### ВОПРОСЫ:

- Какой тип взаимодействия генов приводит к явлению новообразования?
- Чем обусловлено множественное действие гена? Проиллюстрируйте данный тип взаимодействия примерами.
- Можно ли утверждать, что характерная черта цитоплазматической наследственности — передача наследственной информации по материнской линии? Обоснуйте свой ответ.

**ВЫ УЗНАЕТЕ:**

- О молекулах наследственности.
- Об этапах реализации наследственной информации.

**ВСПОМНИТЕ:**

- Что представляет собой первичная структура белков?
- Каково строение ДНК и её мономеров – нуклеотидов?
- В чём заключается принцип комплементарности?
- В чём различия РНК и ДНК?

Френсис Крик и Джеймс Уотсон – сотрудники Кавендинской лаборатории в Кембридже. В своё время, работая в этой лаборатории, знаменитый Э. Резерфорд предложил модель строения атома. Результаты своих исследований Дж. Уотсон и Ф. Крик опубликовали в статье «Молекулярная структура нуклеиновых кислот», которая заняла менее одной страницы в журнале «Nature» и содержала всего... 900 слов. За своё открытие учёные в дальнейшем были удостоены Нобелевской премии (1962).

Материнская молекула ДНК



Старая цепь

Новая цепь

2.11. Репликация ДНК  
<http://kurokam.ru>

## МОЛЕКУЛЯРНАЯ ПРИРОДА ГЕНА. УДВОЕНИЕ ДНК. ТРАНСКРИПЦИЯ

Хромосомная теория наследственности позволила достичь значительных успехов в понимании генетических явлений. Однако до середины 50-х гг. XX в. не было известно, из какого вещества состоят гены. Неясно было и то, как ген осуществляет своё собственное воспроизведение в течение цикла клеточного деления.

**ДНК – НОСИТЕЛЬ ГЕНЕТИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ** Установить строение ДНК и выяснить её роль как носителя наследственной информации удалось Дж. Уотсону и Ф. Крику (1953). Построенная ими модель ДНК состояла из двух комплементарных цепей, что говорило о возможности её самокопирования.

В настоящее время установлено, что каждая молекула ДНК содержит множество разных генов. Вся информация, заключённую в молекулах ДНК клетки, называют **генетической**. Ген — единица генетической информации.

Выяснение молекулярной структуры ДНК произвело революцию в генетике. Ген перестал быть чем-то таинственным. Его свойства теперь можно было изучать не только в экспериментах по скрещиванию, но и с помощью физико-химических методов.

**РЕПЛИКАЦИЯ ДНК** Молекула ДНК обладает уникальным свойством — способностью к удвоению. Процесс самовоспроизведения ДНК называют **репликацией** (лат. *replicatio* — повторение) или **редупликацией**. В основе репликации лежит принцип комплементарности.

С помощью специальных ферментов водородные связи, соединяющие цепочки ДНК, разрываются, они расходятся. К нуклеотидам каждой цепи (с участием фермента ДНК-полимеразы) присоединяются комплементарные нуклеотиды. При этом цепи материнской (исходной) молекулы ДНК играют роль штампа или матрицы, задают порядок расположения нуклеотидов во вновь синтезируемых цепях. В результате репли-

кации из одной молекулы ДНК создаются две абсолютно ей идентичные молекулы. В каждой из дочерней ДНК одна цепочка получена от материнской молекулы, а другая вновь синтезирована. При делении клетки две молекулы ДНК расходятся по дочерним клеткам. В результате они содержат ту же генетическую информацию, что и исходная клетка.

**ОБРАЗОВАНИЕ иРНК НА МАТРИЦЕ ДНК** Разные виды растений, животных, грибов различаются многими признаками. В конечном итоге эти различия определяются набором белков. Информация о том, какие белки будут синтезироваться в ходе дробления зиготы и дальнейшего развития зародыша, заключена в ДНК, и от неё зависит видовая специфичность будущего организма.

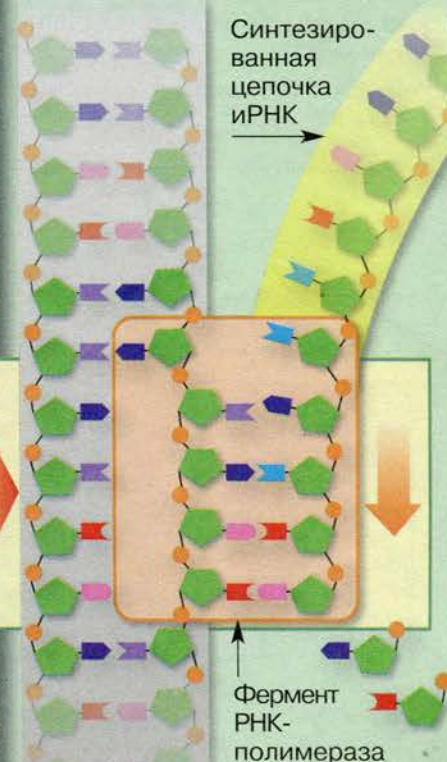
Роль посредника между ДНК, находящейся в ядре, и местом синтеза белка — рибосомами — выполняет информационная РНК (иРНК). С помощью специального фермента (РНК-полимеразы) иРНК синтезируется на одной из цепей ДНК, которая служит матрицей для синтеза. При этом ДНК в соответствующем участке расплетается.

Процесс переноса информации с цепи ДНК на цепь иРНК носит название **транскрипции** (лат. *transcriptio* — переписывание). При транскрипции ДНК строго соблюдается принцип комплементарности. Поэтому образующаяся полинуклеотидная цепь РНК точно соответствует матричной нити ДНК.

По длине каждая из молекул иРНК в сотни раз короче ДНК. Это объясняется тем, что иРНК содержит информацию, заключённую не во всей молекуле ДНК, а только в одном гене или группе рядом находящихся генов, несущих информацию о структуре белков, необходимых для выполнения одной функции.

Фермент РНК-полимераза узнаёт нужный ген по наличию определённой группы нуклеотидов в начале этого гена. Дойдя до конца гена, фермент встречает сигнал также в виде определённой последовательности нуклеотидов, означающий конец считывания. Готовая иРНК отходит от ДНК, выходит из ядра через ядерные поры и направляется к месту синтеза белков.

Репликация происходит с высокой точностью. В среднем в процессе воспроизведения ДНК человека может возникнуть не более трёх ошибок. Высокая точность репликации обеспечивается тем, что ДНК-полимераза дважды проверяет соответствие каждого нуклеотида новой цепи матрицы. Репликация осуществляется не только точно, но и быстро: 500 нуклеотидов в секунду у бактерий, 50 нуклеотидов в секунду у млекопитающих.



### ВОПРОСЫ:

- Каким образом ДНК выполняет функции носителя генетической информации?
- Как осуществляется процесс репликации?
- Какова роль иРНК в процессе передачи генетической информации?

**ВЫ УЗНАЕТЕ:**

- О свойствах генетического кода.
- О видах РНК, участвующих в синтезе белков.
- Из каких этапов состоит процесс синтеза белков.
- Каким образом происходит регуляция генной активности.
- О центральной догме молекулярной биологии.

**ВСПОМНИТЕ:**


- Какие типы нуклеотидов ДНК существуют?
- Каковы функции ДНК и иРНК в клетке?
- Каково значение белков для организма?

Впервые идею о триплетности генетического кода высказал работавший в США русский физик Георгий Антонович Гамов (1954). Его предположение было экспериментально подтверждено в 1961 г. В последующие годы благодаря усилиям Маршала Ниренберга, Роберта Холи, Хара Гобинта Хораны были расшифрованы все 64 кодона. За расшифровку генетического кода они получили Нобелевскую премию (1968).

## ГЕНЕТИЧЕСКИЙ КОД. БИОСИНТЕЗ БЕЛКОВ

Важнейшая проблема генетики середины XX в. — выяснение шифра записи генетического кода, установление связи между чередованием нуклеотидов в нуклеиновых кислотах и строгой последовательностью аминокислотных остатков в молекуле белка.

**ГЕНЕТИЧЕСКИЙ КОД И ЕГО СВОЙСТВА** Чтобы расшифровать записанную в молекуле ДНК информацию, необходимо знать код ДНК, т.е. определённое соответствие нуклеотидов аминокислотам. Нуклеотидов всего 4 вида, а аминокислот в составе белков — 20. Очевидно, что единицей кода не может быть один нуклеотид. Недостаточно для кодирования 20 аминокислот и кода из двух нуклеотидов ( $4^2 = 16$ ). Тогда как число возможных комбинаций из трёх нуклеотидов ( $4^3 = 64$ ) более чем достаточно. В результате единицей кода могут быть три нуклеотида. Простой расчёт оказался верным, в природе существует трёхбуквенный, или триплетный, код.

 Единица генетического кода — **кодон**, или **триплет**, — участок ДНК, состоящий из комбинации трёх нуклеотидов и кодирующий один аминокислотный остаток полипептидной цепи белка. В гене столько кодонов, сколько аминокислотных остатков в кодируемой молекуле белка. **Триплетность** — основное свойство генетического кода.

ДНК служит носителем наследственной информации, но непосредственное участие в синтезе белка принимает иРНК. Поэтому генетический код записан на языке иРНК.

Код читается триплетами непрерывно с фиксированной стартовой точки (определённой группы нуклеотидов). Идущая после неё нуклеотидная последовательность делится на триплеты. В результате **генетический код не перекрывается**. Это ещё одно важное его свойство. В конце каждого гена находятся «знаки препинания» — специальные триплеты (УАА, УАГ, УГА), которые обозначают прекращение синтеза одной полипептидной цепи.

Каждый триплет кодирует только одну аминокислоту. Например, триплет ААУ кодирует только аминокислоту аспарагин, триплет ГЦГ — аланин. Однако один и тот же аминокислотный остаток может кодироваться разными кодонами, например аргинин кодируется шестью кодонами. Предполагают, что это имеет значение для повышения надёжности хранения и передачи наследственной информации.

**Код универсален** для всей живой природы: бактерии, грибы, растения, животные, человек используют одинаковые кодоны для кодирования соответствующих аминокислотных остатков в молекулах белков. Однако известно, что генетический код ДНК митохондрий и пластид имеет некоторые особенности, отличающие его от кода ДНК ядра. Из универсальности кода следует, что гены одного организма можно перенести в любой другой организм, встроить в генетическую программу, и чужеродная клетка может быть использована для синтеза белковых молекул. На этом основана генная инженерия и жизнедеятельность некоторых вирусов.

**ТРАНСПОРТНЫЕ РНК** Перевод информации с языка нуклеиновых кислот на язык белков происходит с помощью транспортных РНК (тРНК). Это небольшие молекулы, состоящие из 70–90 нуклеотидов, способные образовывать структуры, напоминающие клеверный лист. На вершине каждого «листа» тРНК имеется последовательность из трёх нуклеотидов, комплементарная определённому кодону, её называют **антикодоном**. Специальный фермент узнаёт антикодон и присоединяет к «черешку листа» ту аминокислоту, которая соответствует данному антикодону. Для каждой аминокислоты существует специфическая тРНК.

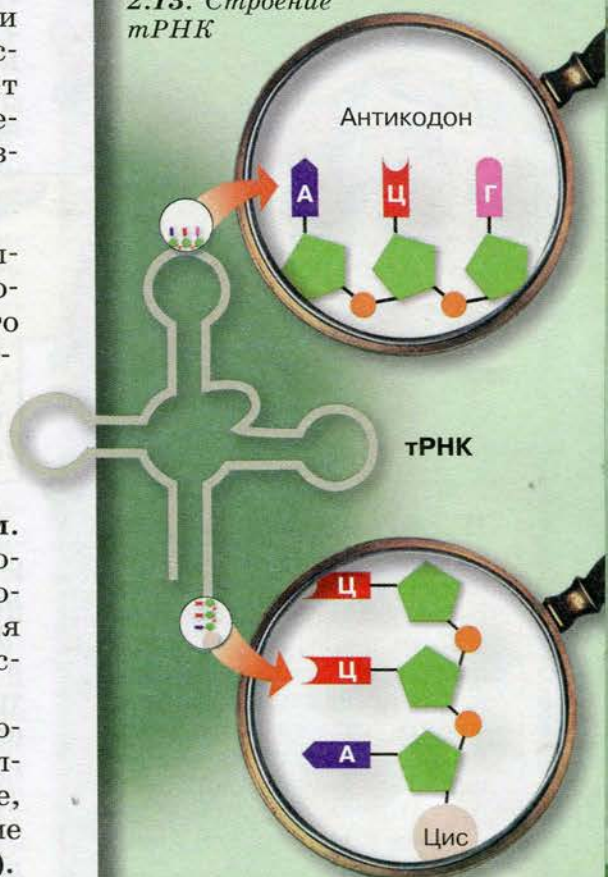
Затем тРНК с аминокислотой поступает в рибосому, где она участвует в «сборке» молекулы белка в соответствии с информацией о его структуре, записанной в иРНК. Этот процесс носит название **трансляции** (лат. *translatio* — передача, перевод).

1-й нуклеотид	2-й нуклеотид				3-й нуклеотид
	У	Ц	А	Г	
У	Фен Фен Лей Лей	Сер Сер Сер Сер	Тир Тир * *	Цис Цис * Три	У Ц А Г
Ц	Лей Лей Лей Лей	Про Про Про Про	Гис Гис Глн Глн	Арг Арг Арг Арг	У Ц А Г
А	Иле Иле Иле Мет	Тре Тре Тре Тре	Асн Асн Лиз Лиз	Сер Сер Арг Арг	У Ц А Г
Г	Вал Вал Вал Вал	Ала Ала Ала Ала	Асп Асп Глу Глу	Гли Гли Гли Гли	У Ц А Г

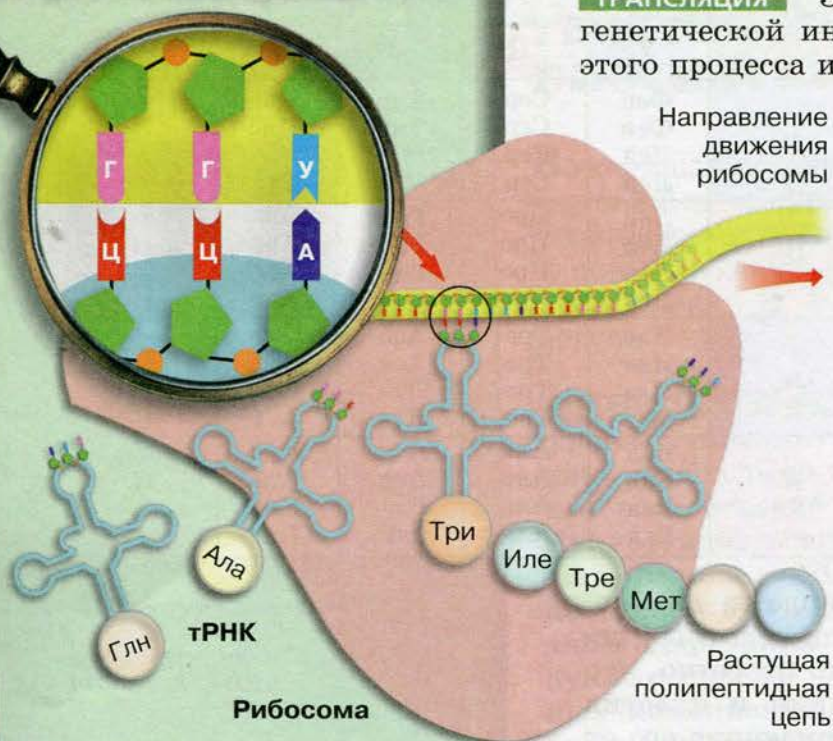
\* — знаки препинания

### 2.12. Генетический код иРНК (кодона)

### 2.13. Структура тРНК



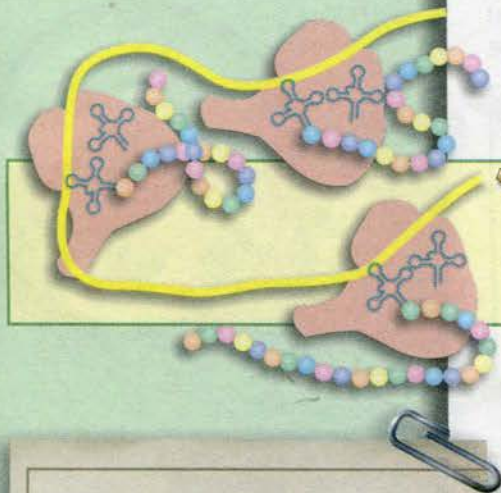




2.14. Трансляция

**ТРАНСЛЯЦИЯ** Заключительный этап реализации генетической информации — трансляция. В ходе этого процесса информация о специфическом строении будущего белка, записанная в виде последовательности нуклеотидов в молекуле иРНК, переводится с нуклеотидного кода в определённую последовательность аминокислот синтезируемых белков. Аминокислоты доставляются в рибосому с помощью тРНК.

Рибосома как бы нанизана на иРНК и читает её, передвигаясь с триплета на триплет. Сюда же поступают тРНК. В рибосоме есть активный центр, имеющий два участка. На первом участке антикодон узнаёт кодон и с помощью специального фермента к аминокислоте тРНК присоединяется полипептидная цепь. По мере движения рибосомы по иРНК тРНК перемещается на второй участок. Растущая полипептидная цепь от неё отрывается и присоединяется к аминокислоте следующей тРНК, уже находящейся на первом участке активного центра рибосомы.



Часто на иРНК одновременно нанизана не одна, а несколько рибосом (до 100). Такую структуру, объединённую одной молекулой иРНК, называют **полисомой** или **полирибосомой**. На каждой рибосоме в таком конвейере, похожем на нитку бус, последовательно синтезируются несколько десятков молекул одинаковых белков.

Процесс синтеза белка требует больших затрат энергии. На соединение одной аминокислоты с тРНК расходуется энергия одной молекулы АТФ. Можно представить, сколько молекул АТФ расщепляется в процессе синтеза среднего по размерам белка, состоящего из нескольких сотен аминокислот. Энергия АТФ необходима и для движения рибосомы по иРНК.

Когда на рибосоме в первом участке оказывается один из триплетов, выполняющих роль знаков препинания, синтез белка завершается. Готовая полипептидная цепь отходит от рибосомы, проникает в каналы эндоплазматической сети, по которым и транспортируется в тот участок клетки, где требуется данный вид белка. А рибосома вступает на другую иРНК, на которой синтезируется другой белок. Таким образом, генетическая информация, заключённая в ДНК, реализуется с помощью разных видов РНК в молекулах соответствующих белков.

**ГЕННАЯ АКТИВНОСТЬ И СПЕЦИАЛИЗАЦИЯ КЛЕТОК**

Все клетки организма произошли от одной оплодотворённой яйцеклетки. Поэтому они содержат одинаковую генетическую информацию, записанную в молекулах ДНК. Однако производят они разные белки. Так, известно, что гемоглобин входит в состав эритроцитов, гормон роста образуется в клетках гипофиза, а инсулин — в клетках поджелудочной железы. Дело в том, что в разных клетках транскрибируются (переписываются) разные участки ДНК (гены), в результате образуются разные иРНК, по которым синтезируются разные белки.



Специализация клетки определяется не всеми имеющимися в ДНК генами, а только теми, с которых информация была прочитана и реализована в виде белков. Таким образом, в каждой клетке реализуется только часть генетической информации.

Даже специфичные для клетки белки не образуются одновременно, а синтезируются в разное время и тогда, когда клетка в них нуждается. На разных этапах онтогенеза одни гены включаются, другие выключаются под воздействием целой системы генов и белков. Таким образом, основу развития организма составляют не только структурные гены, в которых закодированы аминокислотные последовательности белков, но и гены-регуляторы. Механизмы регуляции активности генов хорошо изучены на примере прокариот. У эукариот эти процессы намного сложнее и потому исследованы недостаточно.

**ЦЕНТРАЛЬНАЯ ДОГМА МОЛЕКУЛЯРНОЙ БИОЛОГИИ**

Поток генетической информации в процессе биосинтеза белка реализуется в направлении: ДНК → РНК → белок. Такую закономерность Ф. Крик назвал **центральной догмой молекулярной биологии**. Однако в эту схему через некоторое время была внесена поправка. Оказалось, что некоторые РНК-содержащие вирусы могут осуществлять обратную транскрипцию (обратный перенос информации) — от РНК к ДНК. В результате в схему реализации генетической информации была внесена поправка: ДНК ↔ РНК → белок.

За исследования молекулы РНК учёным Эндрю Фэйру и Крейгу Мелло была присуждена Нобелевская премия (2006). Они доказали, что РНК не только читает информацию, заключённую в генах. Помимо этого, она умеет «чистить» клетку от ненужных белков, выключая гены, их кодирующие.

Впервые процессы регуляции генной активности расшифровали французские микробиологи Жак Моно, Франсуа Жакоб и Андре Львов (1961). За эту работу, признанную теперь классической, они были удостоены Нобелевской премии (1965). Схема Жакоба–Моно–Львова — самый простой способ регуляции генной активности, но далеко не единственный.

**ВОПРОСЫ:**

- Какой этап биосинтеза белка называют трансляцией?
- Начальная часть молекулы белка имеет следующую последовательность аминокислот: цис–фен–тир. Какие тРНК (с какими антикодонами) участвуют в синтезе белка?
- Как направлен поток реализации генетической информации?

**ВЫ УЗНАЕТЕ:**

- Что на смену хромосомной теории наследственности пришла молекулярная теория гена.
- О значении генной инженерии.

**ВСПОМНИТЕ:**

- Что такое плазмиды?
- В чём заключается принцип дискретной природы наследственности?

Кроме структурной части, в состав гена входит обширная регуляторная зона, определяющая время и место работы гена, участок, ответственный за транскрипцию гена. Ген завершается участком, выполняющим роль знака препинания.



В настоящее время разрабатываются многочисленные геномные научные проекты. Они направлены на выяснение последовательности нуклеотидов в молекулах ДНК и составление генетических карт организмов различных видов.

Существуют виды, геном которых в десятки раз больше генома человека, например некоторые рыбы, хвостатые амфибии, растения семейства Лилейные.

## МОЛЕКУЛЯРНАЯ ТЕОРИЯ ГЕНА. ГЕННАЯ ИНЖЕНЕРИЯ

**М**олекулярная генетика — молодая наука. В ней на смену одним гипотезам и теориям приходят другие. Её факты и положения имеют большое практическое значение.

**СОВРЕМЕННЫЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ О СТРУКТУРЕ ГЕНА** В истории генетики хорошо прослеживается развитие представлений о гене. В учении Менделя ген — фактор наследственности, абстрактная единица, обуславливающая развитие определённого признака. В хромосомной теории наследственности ген — уже реально существующая единица — участок хромосомы, занимающий определённое место относительно других генов. С позиций знаний о закономерностях синтеза белков **ген** — участок ДНК, служащий матрицей для синтеза одной полипептидной цепи. В настоящее время установлено, что строение гена достаточно сложное и участок, несущий информацию о структуре белковой цепи, составляет лишь его часть.

**ГЕНОМ** Известно, что генотип — совокупность всех генов организма. В отличие от генотипа, **геном** — совокупность всей ДНК в гаплоидном наборе хромосом организма данного вида. Разные виды организмов существенно различаются геномами.

Главная особенность генома эукариот в сравнении с геномом прокариот — наличие избыточной ДНК. Так, геном человека составляет 3 млрд пар нуклеотидов, но только 25 % генома приходится на гены, а 75 % — на межгенные промежутки. Следовательно, большая часть ДНК эукариот является «молчащей». В бактериальном геноме около 80–90 % ДНК приходится на гены и около 11 % — на межгенные участки. Кроме того, геном эукариот существенно превышает геном прокариот по размерам.

Важнейшая особенность генома эукариот — наличие последовательностей нуклеотидов разной степени повторяемости (от десятков и сотен до сотен тысяч копий генов и межгенных промежутков). Большинство последовательностей ДНК прокариот — уникальные гены.

### ПОЛОЖЕНИЯ МОЛЕКУЛЯРНОЙ ТЕОРИИ ГЕНА

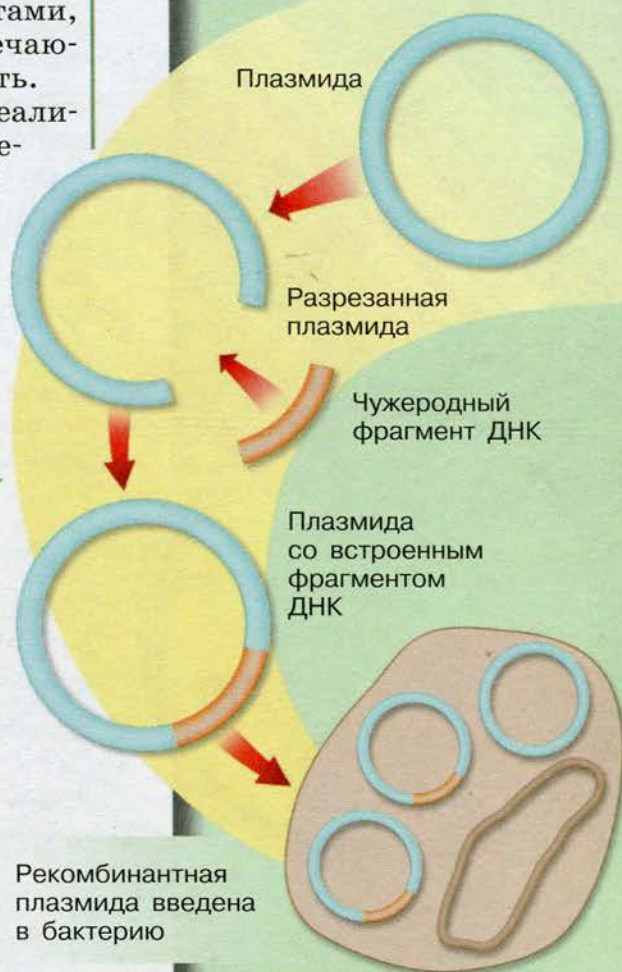
- Ген — участок молекулы ДНК (РНК), занимающий определённое место относительно других генов, способный к репликации и кодированию одной цепи белка.
- Гены ограничены специальными триплетами, имеют регуляторную зону, участок, отвечающий за транскрипцию и структурную часть.
- Закодированная в генах информация реализуется на основе матричного принципа через процессы репликации, транскрипции и трансляции. Поток генетической информации осуществляется только в направлении ДНК  $\leftrightarrow$  РНК  $\rightarrow$  белок.
- Геном прокариот в основном представлен уникальными генами. В геноме эукариот преобладают межгенные промежутки. Многие последовательности ДНК представлены большим числом копий.

Теория гена имеет практическое значение, служит основой генной инженерии.

**ГЕННАЯ ИНЖЕНЕРИЯ** Известно, что в большинстве случаев белки специфичны для каждого вида и часто создаются клетками в очень малых количествах. Поэтому широкое их использование затруднено. Между тем человечеству в значительных объёмах необходимы биологически активные вещества белковой природы, например гормоны. Решить эту проблему позволяет **генная инженерия** — область молекулярной генетики, основанная на использовании гибридных ДНК.

Гены можно синтезировать или выделять готовыми из ДНК клеток определённого типа. Выделение происходит с помощью ферментов, одни из которых разрезают ДНК на отдельные фрагменты в определённых местах, другие сшивают ДНК и восстанавливают целостность гена. Выделенный ген затем вносится в бактериальную клетку посредством плазмид, в ДНК которых его встраивают. Плазмиды со вставкой встраиваются в бактериальную хромосому. В ней перенесённый ген начинает работать, происходит синтез определённого белка, например человеческого интерферона. Полученный белок идентичен интерферону, синтезируемому самим организмом.

2.15. Схема встраивания гена




### ВОПРОСЫ:

- Каковы особенности строения гена?
- Что такое геном? В чём основное различие в организации генома про- и эукариот?
- Сформулируйте основные положения молекулярной теории гена.
- Какую область молекулярной генетики называют генной инженерией? С чем связаны её методы?
- Как человек использует достижения генной инженерии на практике?

## ПОДВЕДЁМ ИТОГИ

- Успешному развитию генетики способствовала верно выбранная исходная идея о дискретной природе наследственности. Учение Менделя доказало такие свойства генов, как дискретность, стабильность, аллельность.
- Цитологическое обоснование законам Менделя дала хромосомная теория наследственности — выдающееся обобщение первой четверти XX в. Центральное положение теории — закон сцепленного наследования. Изучение явления сцепления генов и его нарушения в результате перекрёста хромосом позволило положить начало составлению генетических карт живых организмов.
- Дальнейшему развитию генетики способствовало развитие представлений о молекулярной природе гена. Было сформулировано понятие о гене как участке ДНК (РНК), служащем матрицей для синтеза одной полипептидной цепи.
- Современные данные молекулярной генетики обобщает теория гена, включающая положения о различии генов прокариот и эукариот, об этапах реализации генетической информации.
- Основные положения теории гена нашли практическое воплощение в генно-инженерных технологиях.



AABB  
AABb  
AaBB  
AaBb

### ВОПРОСЫ ДЛЯ ОБСУЖДЕНИЯ:

- Предположим, что на планете Z открыли живые существа, белки которых построены из 40 видов аминокислот, а ДНК содержит 3 типа нуклеотидов. Что можно сказать о генетическом коде, используемом этими организмами?
- Почему клетки разных тканей одного организма синтезируют разные белки?
- Известно, что Y-хромосома почти не содержит генов. Значит ли это, что природа «не совсем поровну» распределила генетическую информацию между представителями разных полов? Может, именно это лежит в основе бытующего мнения, что мужчины труднее переносят различные заболевания и хуже адаптируются к новым жизненным обстоятельствам, чем женщины?



## ГЛАВА III

# ОСНОВНЫЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ ИЗМЕНЧИВОСТИ. СЕЛЕКЦИЯ



**И**зменчивость — всеобщее свойство живых организмов. Некоторые признаки организмов изменяются под действием факторов внешней среды, а некоторые — в результате комбинирования материальных единиц наследственности — генов и хромосом. Возрастные изменения происходят в процессе индивидуального развития. Наследственная изменчивость — основа селекции и главное условие эволюции видов.

**ВЫ УЗНАЕТЕ:**

О разнообразии наследственных изменений, об их причинах.  
<http://kufokam.ru>

**ВСПОМНИТЕ:**

- О чём говорит закон независимого комбинирования признаков?
- Что такое геном?



**Де Фриз Гуго Мари**  
1848–1935

Голландский ботаник и генетик. Повторно открыл законы Менделя. Создал мутационную теорию.

Термин «мутация» был введён де Фризом (1901) для обозначения случайно возникающих, скачкообразных и стойких изменений генотипа.



Транслокация



Делеция



Дупликация



Инверсия

## НАСЛЕДСТВЕННАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ. ТИПЫ МУТАЦИЙ

**Изменчивость** — общее свойство организмов приобретать новые признаки. Различают изменчивость наследственную и ненаследственную. Наследственная изменчивость — основа биологического разнообразия и главное условие эволюции видов. Она включает комбинативную и мутационную изменчивость.

**КОМБИНАТИВНАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ** Независимое расхождение разных пар гомологичных хромосом в процессе мейоза приводит к новому сочетанию хромосом и генов в гаметах. В результате случайного слияния гамет при оплодотворении организм получает определённую комбинацию хромосом, которая приводит к формированию нового уникального генотипа. Источником комбинативной изменчивости служит также перекрёст хромосом в процессе мейоза.

**МУТАЦИОННАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ. ТИПЫ МУТАЦИЙ** Дискретные изменения наследственного материала называют **мутациями**. Они возникают скачкообразно у отдельных особей вида и могут затрагивать целые хромосомы, их части или отдельные гены.

**Геномные мутации** связаны с изменением числа хромосом. У культурных растений довольно часто встречается явление **полиплоидии** — кратного увеличения числа хромосом. У полигаплоидных организмов набор хромосом в клетках повторяется не дважды, как у диплоидных, а три, четыре и большее число раз.

**Хромосомные мутации** заключаются в значительных перестройках хромосом. Участки хромосом могут изменить своё положение, потеряться, удвоиться, повернуться на 180°. Это приводит к изменению генотипа и может отразиться на фенотипе организма.

**Генные, или точковые, мутации** связаны с заменой, выпадением или вставкой нуклеотидов в пределах участка ДНК — гена.

Мутации по типу замены нуклеотидов могут изменить кодон в ДНК и иРНК. В результате изменится структура и свойства кодируемого белка. Однако это происходит не всегда, так как один и тот же аминокислотный остаток в молекуле белка может кодироваться различными кодонами.

Мутации, связанные со вставкой или выпадением нуклеотидов, как правило, приводят к изменению первичной структуры и свойств синтезируемых белков.

Примером, иллюстрирующим последствие точковой мутации, может быть тяжёлое наследственное заболевание — серповидноклеточная анемия. В основе болезни — синтез в организме человека патологического гемоглобина, содержащего только в одном участке вместо глутаминовой кислоты аминокислоту валин.



Структуру гена можно условно изобразить последовательным рядом слов, состоящих из трёх букв. Фраза, образованная этими словами, будет означать записанную в данном отрезке ДНК информацию о белке. Допустим, что мутация заключалась во вставке лишнего нуклеотида. В результате этого, за исключением первых двух триплетов, все остальные оказываются заменёнными. Последовательность аминокислот в белке, кодируемом данным геном, будет совершенно иной. Ген утратит свою функцию. Таким образом, генные мутации — результат «ошибок» в молекуле ДНК.

В результате генных мутаций у организмов возникают рецессивные аллели разных генов.

Различные типы мутаций будут передаваться следующим поколениям лишь в том случае, если они возникают в половых клетках.

**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ПОЛУЧЕНИЕ МУТАЦИЙ** Известный генетик Герман Мёллер доказал, что действие рентгеновских лучей повышает частоту мутационного процесса в сотни раз. Ещё более сильный мутационный эффект вызывают другие ионизирующие излучения.

Учёные Владимир Владимирович Сахаров и Михаил Ефимович Лобашов установили, что вероятность возникновения мутаций сильно возрастает в результате воздействия некоторых химических факторов, например азотистой кислоты, аммиака. Отдельные химические мутагены (супермутагены) усиливают интенсивность естественного мутационного процесса в тысячи раз.

в	о	т	л	е	с	в	я	з
д	у	б	б	у	к	и	в	ы
т	у	т	б	ы	л	п	а	л
д	ы	м	ш	ё	л	т	р	и
д	н	я						

в	о	т	л	е	с	а	в	я
з	д	у	б	б	у	к	и	в
ы	т	у	т	б	ы	л	п	а
л	д	ы	м	ш	ё	л	т	р
и	д	н						я

### ВОПРОСЫ:

- Каковы источники комбинативной изменчивости?
- Какие мутации называют геномными?
- Каковы причины и последствия хромосомных мутаций?
- Как возникают генные мутации? К чему они приводят?
- Назовите возможные точковые мутации гена на участке, кодирующем глицин, которые в дальнейшем не повлекут изменение структуры и свойств синтезируемого белка.
- Что понимают под искусственным мутагенезом?



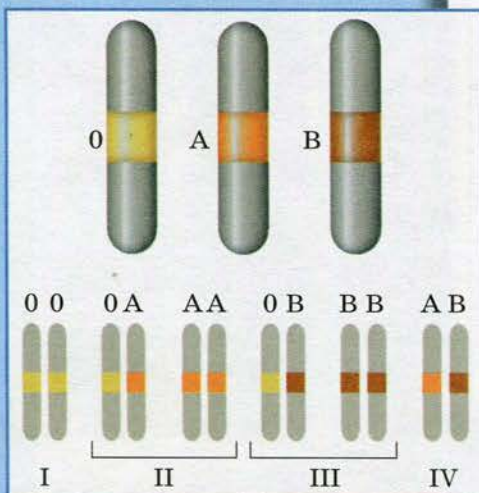
**ВЫ УЗНАЕТЕ:**

● О биологическом законе, позволяющем давать точные научные прогнозы.

**ВСПОМНИТЕ:**

- Каковы особенности строения растений семейства Злаки?
- Что представляют собой генные мутации?

### 3.2. Множественный аллелизм на примере групп крови



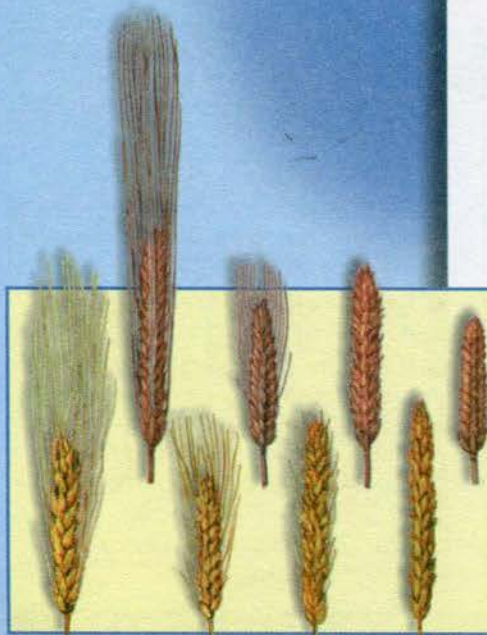
## ЗАКОН ГОМОЛОГИЧЕСКИХ РЯДОВ В НАСЛЕДСТВЕННОЙ ИЗМЕНЧИВОСТИ

С давних времён исследователи наблюдали существование сходных признаков у разных видов и родов одного семейства, например дыни, похожие на огурцы, или арбузы, похожие на дыни. Эти факты легли в основу закона гомологических рядов в наследственной изменчивости.

**МНОЖЕСТВЕННЫЙ АЛЛЕЛИЗМ. ПАРАЛЛЕЛЬНАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ** Ген может находиться более чем в двух состояниях. Разнообразие аллелей одного гена получило название **множественного аллелизма**. Разные аллели определяют разную степень развития одного и того же признака. Чем больше аллелей несут особи популяций, тем более пластичен вид, лучше приспособлен к меняющимся условиям среды обитания.

Множественный аллелизм лежит в основе **параллельной изменчивости** — явления, при котором возникают сходные признаки у разных видов и родов одного семейства. Систематизировал факты параллельной изменчивости Н.И. Вавилов.

**ГОМОЛОГИЧЕСКИЕ РЯДЫ В НАСЛЕДСТВЕННОЙ ИЗМЕНЧИВОСТИ** Н.И. Вавилов сравнивал виды семейства Злаки. Он выяснил, что если мягкая пшеница имеет формы озимые и яровые, остистые и безостые, то такие же формы обязательно обнаруживаются и у твёрдой пшеницы. Более того, состав признаков, по которым различаются формы внутри вида и рода, оказывается часто таким же в других родах. Например, формы ржи и ячменя повторяют формы разных видов пшениц, причём образуя те же параллельные, или гомологические, ряды наследственной изменчивости.



Систематизация фактов позволила Н.И. Вавилову сформулировать **закон гомологических рядов в наследственной изменчивости**: виды и роды, генетически близкие, характеризуются сходными рядами наследственной изменчивости с такой правильностью, что, зная ряд форм в пределах одного вида, можно предвидеть нахождение параллельных форм у других видов и родов.

Гомологичность наследственных признаков близких видов и родов объясняется гомологичностью их генов, так как они произошли от одного вида-родоначальника. Кроме того, мутационный процесс у генетически близких видов протекает сходно. Поэтому у них возникают сходные серии рецессивных аллелей и в результате — параллельные признаки. Так, безъязычковые формы были описаны у всех культурных злаков, кроме ячменя. Ученик Н.И. Вавилова Александр Николаевич Лутков облучил ячмень рентгеном и получил его мутантную безъязычковую форму.



Из закона Вавилова следует важный вывод: каждый вид имеет определённые границы мутационной изменчивости. К изменениям, выходящим за пределы спектра наследственной изменчивости вида, никакой мутационный процесс привести не может. Так, у млекопитающих мутации могут изменить цвет шерсти от чёрного к бурому, рыжему, белому, может возникнуть полосатость, пятнистость, но возникновение зелёной окраски исключено.

**ЗНАЧЕНИЕ ЗАКОНА ГОМОЛОГИЧЕСКИХ РЯДОВ** Признаки закона Вавилова были всеобщим. Гомологические ряды наследственной изменчивости искали и находили у водорослей и грибов, моллюсков и амфибий, черепах и птиц. Было доказано, что закон отражает общебиологическое явление, характерное для всех представителей живого мира.

В селекции закон Вавилова стал важнейшим инструментом деятельности. Ныне идеями гомологической изменчивости пронизаны все отрасли биологии.



Теоретическое значение закона заключается в его высокой предсказательной возможности. Как Д.И. Менделеев на основе периодической системы предвидел открытие новых химических элементов, так и Н.И. Вавилов прогнозировал, с какими признаками могут быть обнаружены растения. Если бы Н.И. Вавилов объяснил только гомологическую изменчивость (а им сделано ещё два открытия такой же значимости), учёный и тогда заслужил бы всеобщее признание.



**Вавилов**  
**Николай Иванович**  
1887–1943

Выдающийся отечественный генетик, ботаник, географ, селекционер. Сформулировал закон гомологических рядов в наследственной изменчивости; создал коллекцию культурных растений мирового значения.

Руководствуясь законом гомологических рядов, селекционеры из Германии получили новую кормовую культуру. Известно, что люпин даёт большой выход зелёной массы и, как и все бобовые, обогащает почву азотом. Однако был известен лишь горький люпин. На основании того, что в других родах бобовых имеются как горькие, так и негорькие формы, была найдена негорькая форма люпина, которая и стала родоначальником новой кормовой культуры.

### ВОПРОСЫ:

- Сформулируйте закон гомологических рядов в наследственной изменчивости, проиллюстрируйте его примерами.
- Каково теоретическое значение закона Вавилова?
- Среди дрозофил никогда не наблюдалось мух с синими или зелёными глазами. Какова вероятность обнаружения указанных мутаций в будущем?

**ВЫ УЗНАЕТЕ:**

○ О методах генетики человека.

**ВСПОМНИТЕ:**

- Причины наследования, сцепленного с полом.
- Особенности начальных стадий дробления зиготы.
- Типы мутаций.

<input type="checkbox"/>	Мужчина
<input type="radio"/>	Женщина
<input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="radio"/>	Больные
<input type="checkbox"/> <input type="radio"/>	Пробанд
<input type="checkbox"/> — <input type="radio"/>	Брак
<input type="radio"/> <input type="checkbox"/> <input type="radio"/>	Братья и сёстры
<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/>	Монозиготные близнецы
<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/>	Дизиготные близнецы
<input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="radio"/>	Гетерозиготные носители рецессивного гена
<input type="checkbox"/> ! <input type="radio"/> !	Лично обследованные
<input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="radio"/>	Умершие

### 3.3. Символы, используемые при составлении родословных

**Монозиготные близнецы** всегда одного пола, имеют одинаковую группу крови, очень похожи друг на друга и составляют примерно 1/3 часть от рождающихся близнецов. Дизиготные близнецы в генетическом отношении сходны как обычные родные братья и сёстры и могут быть как однополыми, так и разнополыми.

## МЕТОДЫ ИЗУЧЕНИЯ НАСЛЕДСТВЕННОЙ ИЗМЕНЧИВОСТИ ЧЕЛОВЕКА

**К** человеку неприменимы методы экспериментальной генетики (например, произвольный подбор родительских пар). У человека медленная смена поколений, малое число потомков, большое число групп сцепления. Несмотря на всё это, генетика человека успешно развивается.

**ГЕНЕАЛОГИЧЕСКИЙ МЕТОД** В случаях когда известны предки или потомки носителя исследуемого признака (пробанда), используется метод построения и анализа родословных. При составлении родословных принято пользоваться определёнными символами. Анализ родословных позволяет определить характер наследования (доминантный или рецессивный, сцепленный с полом).

Благодаря изучению родословных знаменитых семей Европы удалось проследить характер наследования многих наследственных аномалий. Так, узкая, выступающая вперёд нижняя челюсть и отвислая нижняя губа в роду Габсбургов прослежена на их портретах с XIV по XIX в.

**БЛИЗНЕЦОВЫЙ МЕТОД** Применительно к человеку близнецами называют двух или большее число детей, рождённых одной матерью почти одновременно. От числа всех новорождённых близнецы составляют около 2%. Они бывают двух типов — монозиготные и дизиготные. **Монозиготные** (идентичные) близнецы развиваются из одной оплодотворённой яйцеклетки. Это происходит в том случае, когда в начале дробления зиготы первые бластомеры разъединяются по каким-либо причинам, и каждый из них даёт начало нормально развивающемуся плоду. Причиной рождения **дизиготных** близнецов являются множественные овуляции, которые случаются у некоторых женщин. В результате за короткий срок выделяется 2–3 или больше яйцеклеток, каждая из которых может оказаться оплодотворённой и дать начало эмбриону.

Для генетических исследований особый интерес представляют монозиготные близнецы. Метод анализа близнецов используется для выяснения влияния наследственности и окружающей среды на развитие различных признаков у человека.

### ЦИТОГЕНЕТИЧЕСКИЕ И БИОХИМИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ. ХРОМОСОМНЫЕ БОЛЕЗНИ

Микроскопические исследования хромосом лежат в основе **цитогенетических методов**. Современные методы окраски позволяют различать все пары хромосом, а в ряде случаев и хромосомы внутри пары. Каждая пара хромосом имеет своеобразный рисунок в виде набора светлых и тёмных поперечных полос разной ширины, т.е. цитологическую карту. С помощью таких карт диагностируются наследственные заболевания, вызванные хромосомными мутациями.



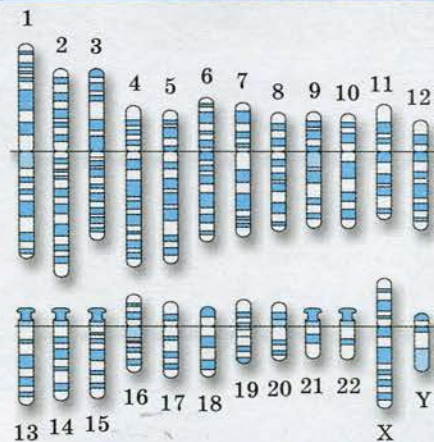
Хромосомные болезни — это обширная группа наследственных патологических состояний, причиной которых являются изменения числа хромосом или нарушение их структуры. При этом имеется определённый комплекс стабильных аномальных признаков (синдромов). Так, в случае синдрома Дауна больные люди имеют характерный разрез глаз, специфическое выражение лица, низкий рост, короткие руки и ноги, у них наблюдается умственная отсталость.

**Биохимические методы** позволяют обнаружить наследственные аномалии аминокислотного, липидного, углеводного и других типов обмена веществ. Они основаны на проведении качественных реакций, позволяющих выявить в крови или моче больных наличие некоторых промежуточных продуктов обмена.

### ПРОФИЛАКТИКА НАСЛЕДСТВЕННЫХ БОЛЕЗНЕЙ И МЕДИКО-ГЕНЕТИЧЕСКОЕ КОНСУЛЬТИРОВАНИЕ

К профилактике наследственных болезней относят мероприятия, направленные на ослабление действия мутагенных факторов: уменьшение дозы облучения от естественных и искусственных источников, снижение содержания химических мутагенов в окружающей среде, отказ будущих родителей от курения и употребления алкоголя, наркотиков.

Целям профилактики наследственных болезней служит медико-генетическое консультирование. К числу важнейших мероприятий медико-генетических консультаций относится дородовая диагностика, выявляющая ряд заболеваний генной природы и хромосомные аномалии на ранних этапах беременности.



3.4. Цитологическая карта



### ВОПРОСЫ:

- В чём заключается суть генеалогического метода изучения наследственности человека? Каковы трудности его применения?
- Чем монозиготные близнецы отличаются от дизиготных?
- Каковы причины хромосомных болезней? Можно ли их выявить до рождения ребёнка?

**ВЫ УЗНАЕТЕ:**

● Чем мутационная изменчивость отличается от модификационной.

**ВСПОМНИТЕ:**

- Каковы характерные особенности мутационной изменчивости?
- Виды экологических факторов и их влияние на живые организмы.

Существуют малопродуктивные породы коров, дающие в естественных условиях 1000–1200 л молока в год, и высокопродуктивные, дающие 4000 л и более. Улучшение кормления и содержания животных может резко повысить удои молока, а ухудшение – снизить. Однако, как ни улучшаются условия содержания малопродуктивных пород, не удаётся поднять их удои до 4000–5000 л молока.



3.5. Модификационная изменчивость у стрелолиста

## МОДИФИКАЦИОННАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ

Исследователи давно заметили, что многие различия между особями находятся в большой зависимости от условий окружающей среды. Даже при совершенно идентичных генотипах два организма могут быть фенотипически несхожими, если они развивались в разных условиях.

**НОРМА РЕАКЦИИ** Живые организмы постоянно испытывают влияние разнообразных факторов среды, в которой они обитают. При этом количественные признаки (масса тела крупного рогатого скота, молочность коров, яйценоскость кур) в большей степени подвержены влиянию среды, чем качественные признаки (цвет глаз, масть животных, форма и окраска цветков). Однако и генотип оказывает на признаки существенное влияние.



В генотипе закодированы не сами признаки, а возможность их возникновения и развития в определённом диапазоне условий внешней среды. Конкретные условия среды как бы включают тот или иной вариант развития наследственных признаков. Пределы, в которых возможно изменение признака, называют **нормой реакции**. Одни признаки (например, молочность) обладают широкой нормой реакции, другие (окраска цветков) — гораздо более узкой. Таким образом, организм наследует не признак, а способность формировать определённый фенотип в конкретных условиях среды, т.е. норму реакции признака.

**МОДИФИКАЦИОННАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ** Ненаследственную изменчивость, связанную с изменением фенотипа, называют **модификационной изменчивостью**. Спектр модификационной изменчивости определяется нормами реакций признаков.

Примеры модификаций хорошо известны. Так, морфология листьев водяного лютика и стрелолиста зависит от того, в какой среде, наземно-воздушной или водной, они развиваются. У камбалы, ведущей донный образ жизни, верхняя сторона тела тёмная, что делает её незаметной

для приближающихся хищников, а нижняя — светлая. Но если аквариум имеет стеклянное дно и освещается не сверху, а снизу, то тёмной становится нижняя поверхность тела.

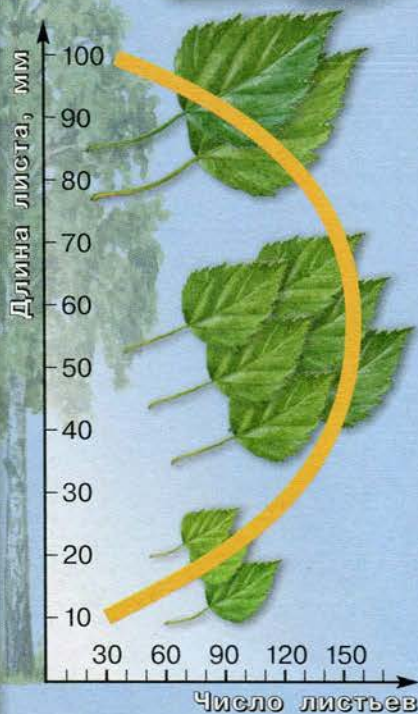
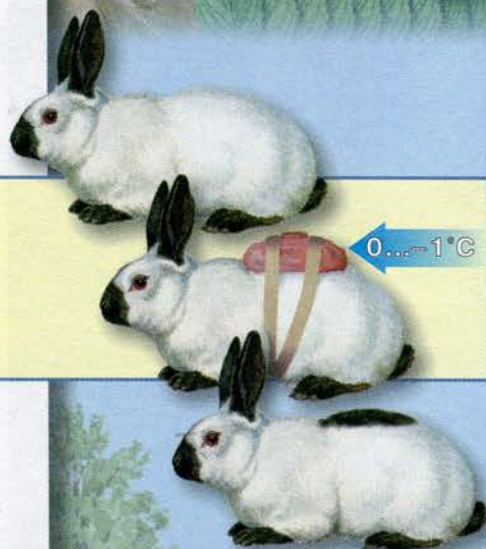


Кролики горностаевой породы имеют белый мех на теле, кроме конца морды, лап, хвоста и ушей. Если выбрить участок, например на спине, и держать зверька при пониженной температуре ( $0...-1^{\circ}\text{C}$ ), то на выбритом месте отрастает чёрная шерсть. Если выщипать часть чёрных волос и поместить кролика в условия повышенной температуры, то вновь отрастает белая шерсть. Это объясняется тем, что для каждого участка тела характерна соответствующая температура, в зависимости от чего синтезируется или исчезает чёрный пигмент — меланин. Генотип при этом остаётся одинаковым.

В отличие от мутаций, модификации не затрагивают наследственную основу организма (его генотип) и не передаются по наследству. Они вызывают сходное изменение признаков у всех особей вида, породы или сорта. Модификации имеют адаптивный и обратимый характер, т.е. представляют собой полезную приспособительную реакцию организма на внешний фактор. Если действие фактора прекращается, то модификация постепенно исчезает. Так, у человека зимой исчезает загар, полученный в результате интенсивного действия лучей солнца летом.

**ВАРИАЦИОННЫЙ РЯД** Модификационная изменчивость признаков может варьировать в широких пределах, что обусловлено разными условиями их развития. Так, если взять листья с одного дерева и расположить в порядке нарастания, например, длины, то получится ряд изменчивости данного признака, который носит название **вариационного ряда**. Его анализ показывает, что средние члены вариационного ряда встречаются наиболее часто, а к обоим концам ряда частота встречаемости снижается.

Чем однообразнее условия развития, тем меньше выражена модификационная изменчивость и тем короче будет вариационный ряд. Чем разнообразнее условия среды, тем шире модификационная изменчивость и длиннее вариационный ряд.



3.6. Вариационный ряд длины листьев берёзы

#### ВОПРОСЫ:

- В чём заключаются различия модификационной и мутационной изменчивости?
- Что понимают под нормой реакции? Приведите примеры признаков с широкой и узкой нормой реакции.

**ВЫ УЗНАЕТЕ:**

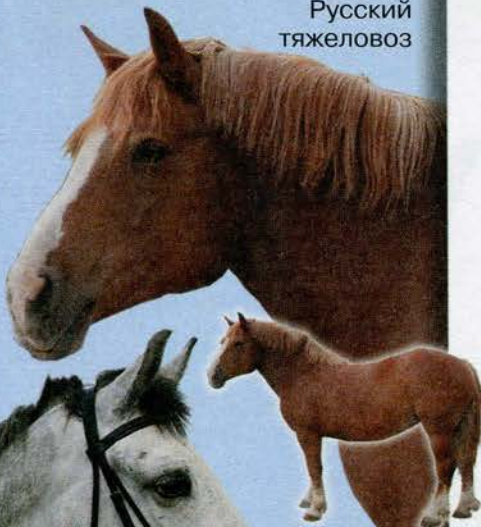
- О роли искусственного отбора в селекции.
- Об уникальной коллекции культурных растений и их диких предках.

**ВСПОМНИТЕ:**

- Каковы особенности комбинативной и мутационной изменчивости?

Породы крупного рогатого скота берут начало от дикого тура, истребленного в XVII в.; породы свиней — от дикого кабана, породы собак — от 1–2 видов псовых. Более 4000 сортов пшеницы произошли от двух диких видов — однозернянки и эммера.

Русский  
тяжеловоз



Орловский  
рысак



## ГЕНЕТИКА И СЕЛЕКЦИЯ. ИСКУССТВЕННЫЙ ОТБОР. ЦЕНТРЫ ПРОИСХОЖДЕНИЯ КУЛЬТУРНЫХ РАСТЕНИЙ

Вавилов определил селекцию как эволюцию, направляемую человеком. Истоки селекции уходят в период неолита (10–15 тыс. лет назад), когда начался процесс приручения диких животных и окультуривания растений.

**РАЗНООБРАЗИЕ И ПРОИСХОЖДЕНИЕ ПОРОД И СОРТОВ**

Задача селекции состоит в создании новых и улучшении уже существующих сортов растений и пород животных. Под **сортом** и **породой** понимают группы особей растений и животных, созданные человеком и обладающие признаками, отвечающими хозяйственным целям, вкусам и запросам человека. Установлено, что всё разнообразие пород и сортов выведено от одного или нескольких диких видов.

**ИСКУССТВЕННЫЙ ОТБОР И ЕГО ТВОРЧЕСКАЯ РОЛЬ**

Выбор человеком наиболее ценных в хозяйственном отношении особей животных и растений данного вида (породы или сорта) для получения от них потомства с желаемыми свойствами называют **искусственным отбором**.

На первых этапах окультуривания растений и одомашнивания животных искусственный отбор происходил стихийно. Затем он стал проводиться сознательно: человек выбирал тех особей среди растений или животных, которые обладали ценными хозяйственными признаками, передающимися по наследству, и от них получал потомство. В следующих поколениях для размножения оставлялись особи, у которых данный наследственный признак был выражен более заметно. Таким образом происходило совершенствование признаков в интересах человека.



Природа поставляет самые разнообразные наследственные изменения. Человек находит среди них полезные для себя и накапливает их путём отбора. Поэтому искусственный отбор в селекции играет творческую роль.

**ЦЕНТРЫ ПРОИСХОЖДЕНИЯ КУЛЬТУРНЫХ РАСТЕНИЙ** Успех селекционной работы зависит от генетического разнообразия исходной группы животных или растений. Поэтому важно вовлекать в селекцию виды диких животных и дикорастущих растений, имеющих полезные для человека признаки. С целью изучения предковых видов культурных растений Н.И. Вавилов организовал несколько экспедиций, в которых собрал уникальную, самую крупную в мире коллекцию разнообразных сельскохозяйственных растений и их диких предков. Именно она послужила фундаментом той огромной коллекции, которая ныне находится в Институте растениеводства им. Н.И. Вавилова в Санкт-Петербурге и активно используется в селекции.

При изучении разнообразия культурных растений Н.И. Вавилов пришёл к выводу, что районы, где сосредоточено наибольшее число сортов, разновидностей тех или иных культур, и являются центрами их происхождения. Оказалось, что можно выделить 7 центров видового разнообразия культурных растений. Центры приурочены к небольшим горным долинам, защищённым от войн и набегов горными хребтами. Большинство центров совпадает с очагами древнего земледелия.

Эпоха Великих географических открытий, начавшаяся со времени первого плавания Христофора Колумба, неузнаваемо изменила мир. Подавляющее большинство видов культурных растений было вывезено и акклиматизировано в новых для них экологических условиях.



Современные зоологические и археологические исследования дают основание считать, что с центрами происхождения культурных растений связаны районы одомашнивания животных. По-видимому, в районах Южно-Азиатского тропического центра были одомашнены собака, свинья, куры, утки, гуси. Предки домашней овцы — азиатские муфлоны (дикие бараны) были широко распространены в нагорьях Передней Азии. В Средне-Азиатском центре одомашнены козы. Родоначальник крупного рогатого скота — тур был одомашнен, вероятно, в нескольких областях Средиземноморского центра. Предки домашней лошади — тарпаны были одомашнены в степях Причерноморья.

В период Великой Отечественной войны группа сотрудников Института растениеводства, несмотря на голод, охраняла коллекцию семян. Каждое блокадное лето в пригородах Ленинграда в прифронтовой полосе пересевали уникальные коллекции клубнеплодов, которые не могли выдержать длительного хранения. За время блокады от голода умерли 14 сотрудников института, спасавших коллекции. Это один из ярчайших подвигов времён Великой Отечественной войны, совершённых безоружными людьми, пример патриотизма и беззаветного служения Родине.

Учёные-биологи увековечили жизненный и научный подвиг Н.И. Вавилова, дав его имя многим видам и сортам растений. Среди сортов злаков, носящих имя великого учёного, есть рожь, овёс и пшеница Вавилова. В Израиле, Палестине и Сирии растёт клевер Вавилова, в Перу — картофель Вавилова. В Туркмении найден и описан миндаль Вавилова, а в Средней Азии — груша Вавилова.

#### ВОПРОСЫ:

- Что такое сорт и порода?
- Какое практическое значение для селекции имеет учение о центрах происхождения культурных растений?
- Почему мировую коллекцию растений, созданную Н.И. Вавиловым, называют крупнейшим национальным достоянием?



**ВЫ УЗНАЕТЕ:**

● Почему сложно проводить межвидовую гибридизацию.

**ВСПОМНИТЕ:**

- Что происходит с хромосомами на стадиях метафазы и анафазы митоза?
- Каковы причины комбинативной изменчивости?
- Что представляют собой полиплоиды?

**СЕЛЕКЦИЯ РАСТЕНИЙ**

**Н**аши предки оставили нам замечательное наследие — тысячи сортов растений. Современные селекционеры, основываясь на знании генетических закономерностей, улучшают эти сорта и получают новые.

**ГИБРИДИЗАЦИЯ** Основные методы селекции растений — искусственный отбор и гибридизация. Гибридизация позволяет увеличить наследственную изменчивость путём получения новых комбинаций генов в результате скрещивания. Гибридизация может быть **межсортовой** (скрещивание особей разных сортов одного вида) и **межвидовой**, или отдалённой (скрещивание особей, принадлежащих к разным видам). Успешно использовал метод отдалённой гибридизации Иван Владимирович Мичурин. Он скрещивал плодовые растения разных видов и родов.

При проведении отдалённой гибридизации селекционеры испытывают большие трудности. Дело в том, что отдалённые гибриды обычно бесплодны. Причины бесплодия связаны с нарушением нормального хода мейоза из-за различия хромосом родительских видов.

**ПРЕОДОЛЕНИЕ БЕСПЛОДИЯ У МЕЖВИДОВЫХ ГИБРИДОВ РАСТЕНИЙ** Выдающимся достижением современной генетики и селекции стала разработка способа преодоления бесплодия межвидовых гибридов.

Капуста (К)

Капустно-редечные гибриды

Редька (R)

Бесплоден

Плодовит



18R



18K



9R+9K



18R+18K



Впервые выяснить причины бесплодия у межвидовых гибридов и разработать методы их преодоления удалось отечественному генетику Георгию Дмитриевичу Карпеченко (1924). При скрещивании редьки и капусты учёный использовал гибриды с удвоенным полным набором хромосом — полиплоиды. В результате каждая хромосома получила своего гомолога, а гаметы несли по одному гаплоидному набору редьки и капусты. Полученный капустно-редечный гибрид стал плодовитым и не расщеплялся на родительские формы. Внешне он напоминал и капусту, и редьку.

**ЯВЛЕНИЕ ГЕТЕРОЗИСА** При скрещивании **чистых линий** — генетически однородного потомства од-

ной исходной самоопыляющейся особи — наблюдается снижение жизнеспособности и урожайности. Это объясняется постепенным переходом большинства генов в гомозиготное состояние. Преодолеть нежелательные последствия можно путём проведения перекрёстного опыления между разными чистыми линиями. В результате гибриды отличаются от обеих родительских линий урожайностью и жизнестойкостью.

Это явление получило название **гетерозиса** (греч. *heteroiosis* — изменение, превращение) или **гибридной силы**. Гетерозис наиболее ощутимо проявляется только в первом поколении и постепенно снижается в последующих поколениях.

**ИСКУССТВЕННЫЙ МУТАГЕНЕЗ** В селекции растений применяется искусственный мутагенез — контролируемый человеком процесс возникновения мутаций. С помощью химических соединений, рентгеновских лучей и других факторов удаётся улучшить некоторые наследственные признаки растений. Мутантные растения иногда могут стать родоначальником сорта, но чаще используются для дальнейшей гибридизации и отбора.

**ДОСТИЖЕНИЯ СЕЛЕКЦИИ РАСТЕНИЙ** В настоящее время осуществляется интенсивная селекционно-генетическая работа, происходит, как говорят, «зелёная революция».

Огромных успехов достигли отечественные селекционеры в выведении самых разнообразных сельскохозяйственных культур. Очень ценятся высокоурожайные сорта яровой пшеницы, выведенные Алексеем Павловичем Шехурдиным и Валентиной Николаевной Мамонтовой. Под руководством Павла Пантелеймоновича Лукьяненко создан ряд сортов озимой пшеницы. Известный селекционер Николай Яковлевич Никитинский вывел около 200 сортов картофеля — второго хлеба России. В селекции подсолнечника велика заслуга Василия Степановича Пустовойта. Им созданы сорта с содержанием масла в семенах до 56%. Продолжается селекционная работа и с плодово-ягодными культурами.



3.7. Проявление гетерозиса в поколениях гибридной кукурузы

В результате гибридизации пшеницы с рожью получено новое культурное растение — тритикале (лат. *triticum* — пшеница, *secale* — рожь). Оно очень перспективно как кормовая и зерновая культура. Созданы также гибриды пшеницы с многолетним сорным растением пыреем.



### ВОПРОСЫ:

- С какой целью применяется межсортовая и отдалённая гибридизация? Почему бесплодны межвидовые гибриды?
- Какова роль полиплоидии в создании новых сортов растений?
- Как достигается эффект гетерозиса? Выскажите предположение о его причинах.
- Какие продуктивные сорта сельскохозяйственных культур выведены отечественными селекционерами?

**ВЫ УЗНАЕТЕ:**

● Об особенностях методов селекции животных.

**ВСПОМНИТЕ:** <http://kurokam.ru>

- В чём сущность отдалённой гибридизации, полиплоидии, гетерозиса?
- Какое строение имеет бактериальная клетка?
- Что лежит в основе искусственного мутагенеза?

**МОИ БИОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ**

Изучите породу своего домашнего питомца (например, собаки).

**«ПОМОЩНИК»**

- Выясните, где и когда была выведена данная порода.
- Какими преимуществами перед другими породами она обладает?
- Предположите, какие типы скрещивания были использованы для создания этой породы.

**СЕЛЕКЦИЯ ЖИВОТНЫХ И МИКРООРГАНИЗМОВ**

Селекция животных имеет некоторые специфические особенности, обусловленные самой природой организма животного: немногочисленное потомство, получаемое в результате только полового размножения, селективная ценность каждой отдельной особи.

**АНАЛИЗ РОДОСЛОВНЫХ ПРИ ПОДБОРЕ ПРОИЗВОДИТЕЛЕЙ**

В зависимости от того, что планируется изменить в исходной породе (увеличить объёмы молочной продукции, повысить жирность молока или изменить мясные качества скота), селекционер подбирает производителей. В подборе производителей исходят из анализа родословных.



В племенных хозяйствах всегда ведутся племенные книги, в которых подробно описываются экстерьерные особенности и продуктивность животных в течение ряда поколений, что позволяет выбрать лучших производителей. По признакам предков с определённой вероятностью судят о генотипе родительских форм и возможности проявления продуктивных качеств у потомства.

**ТИПЫ СКРЕЩИВАНИЯ И ГЕТЕРОЗИС У ЖИВОТНЫХ**

В селекционной работе с животными часто применяют **близкородственное скрещивание**, при котором родительские пары являются братьями и сёстрами. Такое скрещивание позволяет сохранить и закрепить у потомков хозяйственные признаки. С его помощью были выведены многие породы домашних животных. Однако близкородственное скрещивание, как правило, служит лишь этапом улучшения породы, так как, аналогично самоопылению чистых линий у растений, приводит к снижению жизнеспособности потомства.

Отрицательные последствия близкородственного скрещивания удаётся преодолеть путём **неродственного скрещивания**. Его проводят между особями одной породы или между особями разных пород.

В селекции животных используют и межвидовую гибридизацию. Межвидовые гибриды животных часто бывают бесплодными. Однако

преодоление бесплодия представляет здесь более сложную задачу, чем у растений, так как удвоение числа хромосом и получение полиплоидов у животных невозможно.



У домашних животных, так же как и у растений, наблюдается явление гибридной силы. Более 4000 лет человек использует мула (гибрид кобылицы с ослом). Мулы обладают большой физической силой, выносливы, по продолжительности жизни значительно превосходят родительские виды. Выведение гетерозисных цыплят бройлерного производства служит примером особенно эффективного проявления гетерозиса.

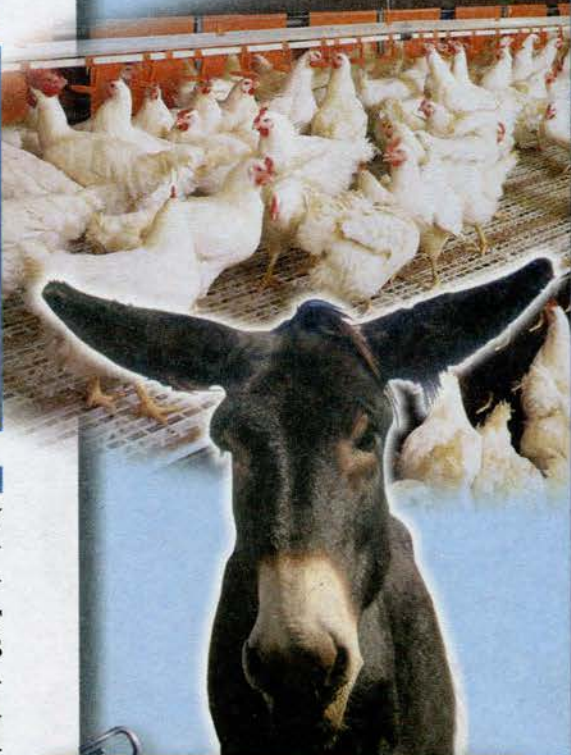
#### ИСКУССТВЕННОЕ ОСЕМЕНЕНИЕ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ЖИВОТНЫХ

Первые опыты по искусственному осеменению животных в нашей стране были проведены ещё в 1900 г. Затем была доказана возможность получения полноценного потомства от замороженной спермы самца-производителя. В настоящее время методы искусственного осеменения глубоохлаждённой спермой широко внедрены в работу племенных хозяйств. Долгосрочное хранение спермы производителей позволяет вести селекционную работу независимо от места размещения стад коров и быков-производителей, времени взятия спермы и времени осеменения. Успешная разработка способов глубокого замораживания и длительного хранения гамет самцов и эмбрионов позволяет создавать банки генофонда.

#### ИСКУССТВЕННЫЙ ОТБОР И МУТАГЕНЕЗ — ОСНОВНЫЕ МЕТОДЫ СЕЛЕКЦИИ МИКРООРГАНИЗМОВ

Цель селекции микроорганизмов — создание наиболее продуктивных штаммов бактерий, грибов, синтезирующих тот или иной используемый человеком продукт (антибиотики, витамины, аминокислоты).

Для создания штаммов, способных производить необходимые человеку вещества в количествах, в тысячи раз превосходящих потребности самих микроорганизмов, широко используют метод искусственного мутагенеза. Получают мутагенные формы и среди них отбирают споры, клетки, дающие начало новым штаммам с желаемыми признаками. Таким способом удалось, например, создать штаммы бактерий, продуцирующих аминокислоту лизин.



**В** замороженном состоянии гаметы самцов и эмбрионы могут сохраняться в течение десятков и даже сотен лет. Нередки случаи получения нормального потомства от быков, семя которых хранилось более 25 лет. Возможность консервации генетического материала имеет большое значение и для сохранения генофонда дикой фауны и флоры, геномов редких и исчезающих видов животных и растений.

#### ВОПРОСЫ:

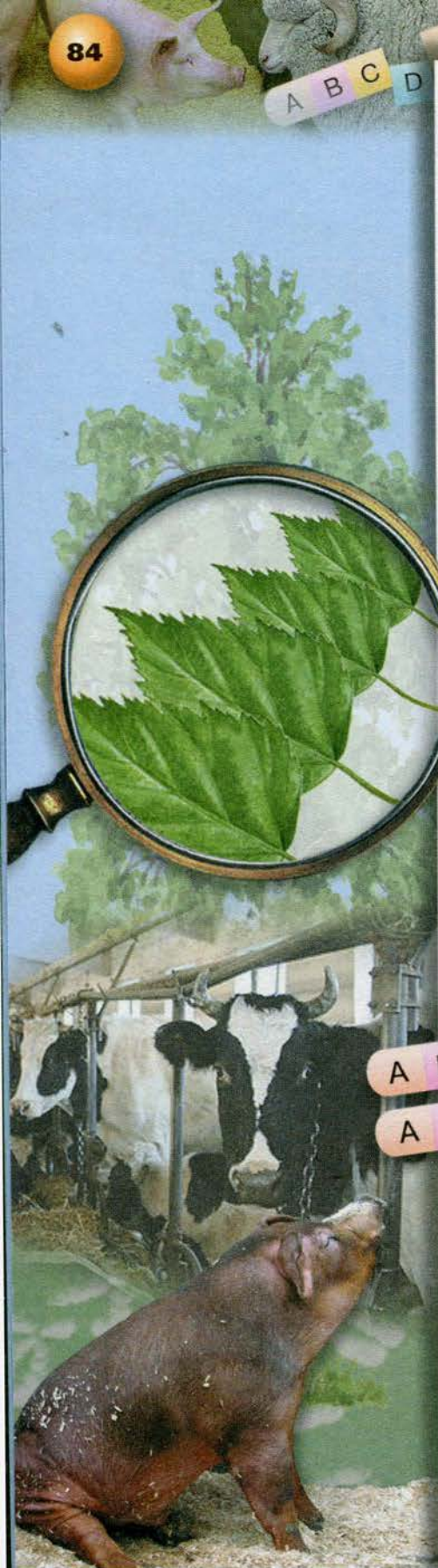
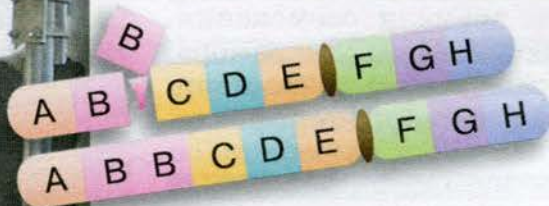
- К каким последствиям приводит межпородное скрещивание и отдалённая гибридизация у сельскохозяйственных животных?
- Какие методы используют в селекции микроорганизмов?

## ПОДВЕДЁМ ИТОГИ

- Параллельно с изучением закономерностей наследственности шло исследование процессов изменчивости.
- Наследственная изменчивость обусловлена возникновением новых генотипов и приводит, как правило, к изменению фенотипа. В основе наследственной изменчивости лежат мутации и новые комбинации аллелей генов.
- Модификационная изменчивость отражает изменения фенотипа под действием условий существования организма и не затрагивает генотип.
- Предсказывать изменчивость близкородственных видов, сортов и пород позволяет закон гомологических рядов в наследственной изменчивости, играющий в селекции роль метода.
- Академик Н.И. Вавилов сформулировал задачи селекции, установил центры происхождения культурных растений и создал самую крупную в мире коллекцию сельскохозяйственных растений и их диких предков.
- Направления селекции растений, животных, микроорганизмов имеют свои особенности, однако традиционно используются такие общие методы, как гибридизация и искусственный отбор.

### ВОПРОСЫ ДЛЯ ОБСУЖДЕНИЯ:

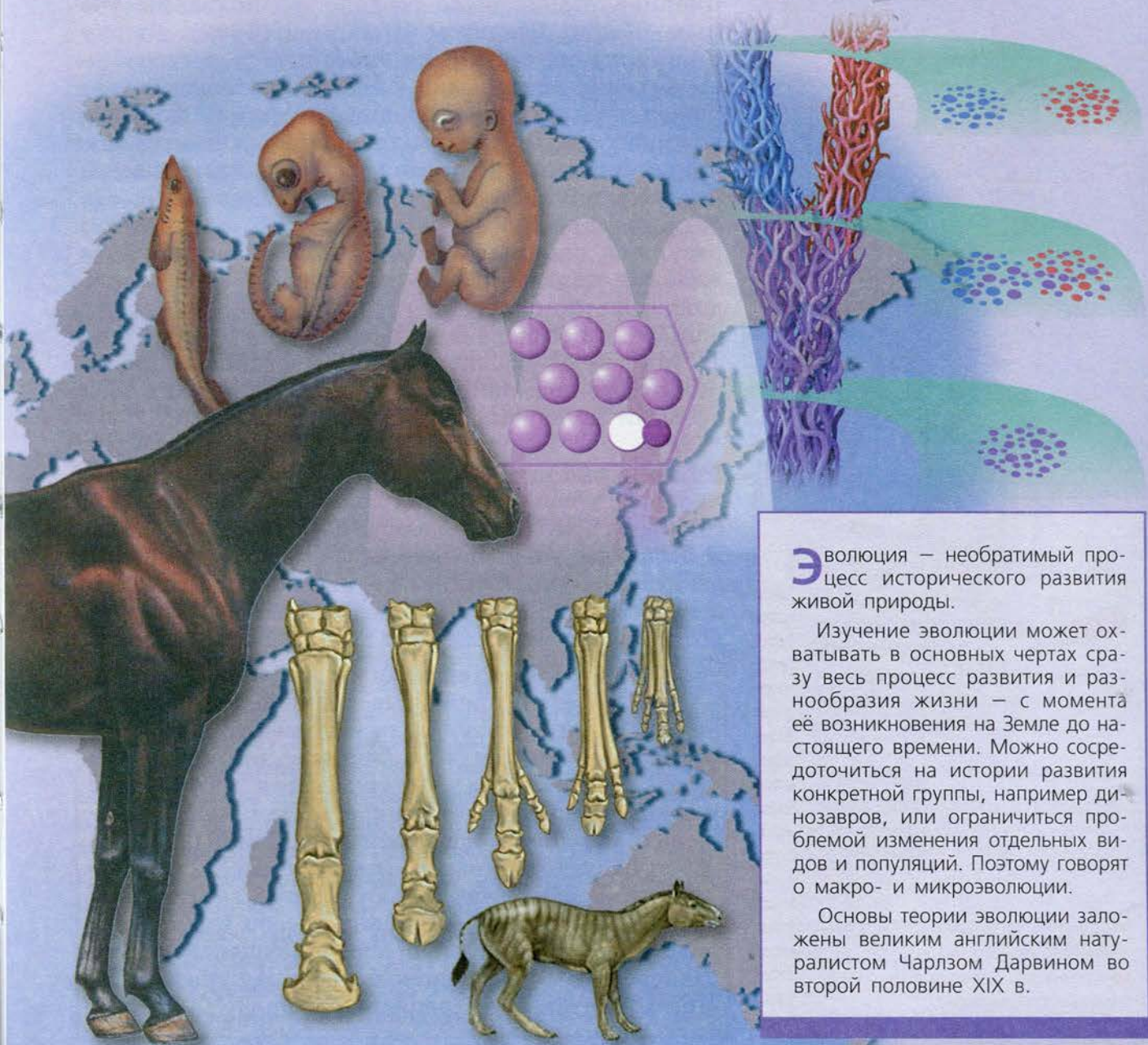
- Объясните, почему на поле, засеянном пшеницей одного сорта, растения отличаются друг от друга по высоте стебля, величине колосьев, размеру зёрен и по другим признакам.
- Можно ли согласиться с мнением, что любые изменения последовательности нуклеотидов в молекуле ДНК сказываются на первичной структуре и функциях белка? Почему?
- Иногда из семян кабачков, собранных на приусадебном участке, при их посадке на следующий год развиваются плоды, похожие на плоды тыквы, патиссонов. Как это можно объяснить?





## ГЛАВА IV

# ЗАКОНОМЕРНОСТИ МИКРО- И МАКРОЭВОЛЮЦИИ



**Э**волюция — необратимый процесс исторического развития живой природы.

Изучение эволюции может охватывать в основных чертах сразу весь процесс развития и разнообразия жизни — с момента её возникновения на Земле до настоящего времени. Можно сосредоточиться на истории развития конкретной группы, например динозавров, или ограничиться проблемой изменения отдельных видов и популяций. Поэтому говорят о макро- и микроэволюции.

Основы теории эволюции заложены великим английским натуралистом Чарлзом Дарвином во второй половине XIX в.

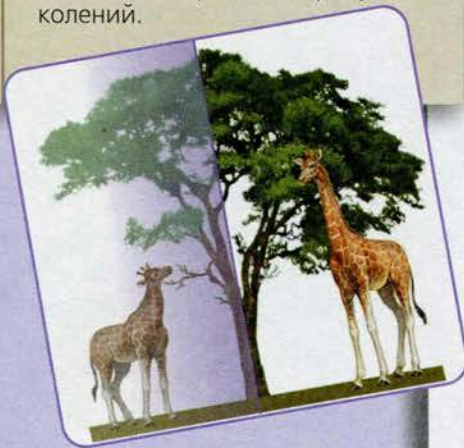
**ВЫ УЗНАЕТЕ:**

● О связи учения Дарвина с современной теорией эволюции.

**ВСПОМНИТЕ:**

- Каковы положения дарвинизма?
- В чём заключается сущность законов Менделя?

Согласно учению Ламарка длинная шея у жирафа, развитие носовой части с образованием хобота у слона возникли вследствие постоянного упражнения этих органов в ряду поколений.

**МОИ БИОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ**

Поставьте опыт, иллюстрирующий внутривидовую борьбу за существование.

**«ПОМОЩНИК»**

- Возьмите два цветочных горшка с землёй и в один густо посейте семена овса (пшеницы, гороха), а в другой посейте семена редко, через 8–10 см.
- Наблюдайте за развитием проростков.
- Сравните и объясните полученные результаты.

**ИЗ ИСТОРИИ РАЗВИТИЯ ЭВОЛЮЦИОННОЙ ТЕОРИИ**

Эволюционные идеи можно найти уже в трудах мыслителей Древнего Востока и античных философов. Описание новых видов живых организмов в эпоху Великих географических открытий поколебало представление об их неизменности и привело к распространению эволюционной идеи.

**ЭВОЛЮЦИОННОЕ УЧЕНИЕ ЛАМАРКА**

Первое эволюционное учение было создано французским учёным Жаном Батистом Ламарком (1809). Движущие силы эволюции, по Ламарку, — внутреннее стремление организмов к совершенствованию, заложенное в них изначально, и влияние факторов внешней среды, обуславливающих формирование приспособлений. Растения воспринимают изменения условий внешней среды через обмен веществ. У животных изменение условий приводит к развитию определённых органов. Возникшие изменения передаются по наследству. Идея наследования приобретённых признаков оказалась ошибочной и была в дальнейшем опровергнута.

Многие натуралисты также высказывались в пользу эволюционного развития. Однако их идеи не были подкреплены научными фактами.

**ФАКТОРЫ ЭВОЛЮЦИИ ПО ДАРВИНУ**

В основе эволюционного учения Дарвина лежит идея естественного отбора как направляющего фактора эволюции. К этой идее учёный пришёл на основе анализа селекционной практики, где широко используется искусственный отбор, проводимый человеком.



Под естественным отбором понимается преимущественное выживание и участие в размножении наиболее приспособленных к условиям окружающей среды особей вида. Материал для отбора даёт наследственная изменчивость, так как в пределах каждого вида особи несколько различаются наследственными признаками. В силу того что особи вида неодинаковы, а ресурсы среды обитания ограничены, особи имеют разные возможности в борьбе за существование. Неизбежным следствием борьбы за существование является естественный отбор.

Действуя длительное время, естественный отбор накапливает полезные наследственные изменения и создаёт приспособленные к среде обитания популяции и виды. Приспособленность организмов — важный результат эволюции. Она не абсолютна, носит относительный характер, так как условия среды постоянно изменяются.



Ч. Дарвин не был знаком с трудами Г. Менделя, хотя они были современниками. И он затруднялся выступать против своих оппонентов. Они утверждали, что естественный отбор не может накапливать наследственные изменения и формировать приспособления, так как признаки смешиваются, разбавляются и исчезают при скрещиваниях. Учение Менделя лишило противников дарвинизма аргументов. Оно доказывало, что наследуются не признаки, а материальные единицы (гены), которые не разбавляются и не исчезают при скрещиваниях и потому могут служить материалом для естественного отбора.

**СИНТЕЗ ГЕНЕТИКИ И ДАРВИНИЗМА** В начале XX в. данные генетики были использованы для выдвижения новых гипотез эволюции. Наследственная изменчивость (прежде всего мутационная) рассматривалась генетиками в качестве главного фактора эволюции, а естественному отбору отводилась второстепенная роль. Сам по себе этот факт был знаменателен: он свидетельствовал о тесной связи генетики с эволюционной теорией.

Одним из первых способствовал объединению генетики и дарвинизма Сергей Сергеевич Четвериков. Он показал, что доминантные и рецессивные мутации ведут себя в популяции по-разному. Доминантные мутации проявляются в фенотипах особей уже первого поколения и подвергаются действию естественного отбора. Рецессивные мутации проявляются в фенотипе только в гомозиготном состоянии. При этом, прежде чем отразиться в фенотипе, они накапливаются в популяции, образуя скрытый резерв наследственной изменчивости. Таким образом, С.С. Четвериков доказал главное положение учения Дарвина, что материалом для естественного отбора служат мелкие наследственные изменения. Начавшееся в 1920-х гг. объединение дарвинизма и генетики принято считать периодом становления **синтетической теории эволюции (СТЭ)**.

**2009 год** — год двойного юбилея. В этом году исполнилось 200 лет со дня рождения Ч. Дарвина, и 150 лет назад вышел в свет его знаменитый труд «Происхождение видов путём естественного отбора».

Дарвинизм как господствующая эволюционная теория существовал с 1859 до 1900 г., когда произошло переоткрытие законов Менделя. Затем началось становление синтетической теории эволюции, основанной на синтезе положений классического дарвинизма и генетики.

Термин «синтетическая теория эволюции» обязан своим появлением названию книги английского биолога Джулиана Хаксли «Эволюция: современный синтез» (1942). С этого времени начался период триумфального распространения СТЭ и её использования в систематике, генетике, селекции, экологии, морфологии и других науках, продолжающийся и в настоящее время.

*Н.Н. Воронцов*

### ВОПРОСЫ:

- Какое значение для развития эволюционной теории имело открытие материальных единиц наследственности — генов и их способности мутировать?
- Почему современную эволюционную теорию называют синтетической?



**ВЫ УЗНАЕТЕ:**

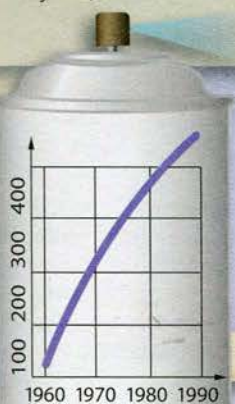
● Почему эволюция начинается в популяции.

**ВСПОМНИТЕ:**

- Каковы критерии вида?
- Что называют популяцией?

Микроэволюция совершается на наших глазах. Так, человек для борьбы с синантропными видами животных и растений, болезнетворными микроорганизмами создаёт различные химические препараты. Сначала они действуют успешно. Затем формируются приспособления к новым условиям среды обитания, возникают нечувствительные к данным препаратам популяции.

Число видов, устойчивых к пестицидам



Годы

Понятие «популяция» впервые использовал Вильгельм Иогансен (1913) для обозначения генетически неоднородной группы особей одного вида в отличие от однородной (чистой линии). Понятие «генофонд» ввёл крупный отечественный генетик А.С. Серебровский (1928).

## МИКРОЭВОЛЮЦИЯ. ПОПУЛЯЦИЯ КАК ЭВОЛЮЦИОННАЯ СТРУКТУРА

Эволюцию, идущую на уровне вида в популяциях и завершающуюся образованием нового вида, называют микроэволюцией. Микроэволюционные явления и процессы нередко совершаются в сроки, доступные непосредственному изучению. Их можно наблюдать и в повседневной жизни.

**ВИД. СУЩЕСТВОВАНИЕ ВИДОВ В ФОРМЕ ПОПУЛЯЦИИ** Совокупность особей, имеющих единое происхождение, обладающих одинаковым набором хромосом, сходством морфологических, физиологических, биохимических и этологических особенностей, свободно скрещивающихся с образованием плодового потомства, занимающих определённый ареал и приспособленных к конкретным условиям среды обитания, называют **видом**. Главный из видовых критериев — генетический, характеризующийся определённым набором хромосом. Из-за различий в хромосомных наборах разные виды в природе, как правило, не скрещиваются, т.е. вид представляет собой генетически закрытую систему.

Население любого вида размещено в пределах ареала неравномерно, так как необходимые для жизни места обитания не покрывают весь ареал. Группы особей одного вида, длительно существующие в определённой части ареала относительно обособленно от других особей того же вида, называют **популяциями**. В отличие от вида популяция — генетически открытая система. Особи разных популяций могут скрещиваться и давать плодovitое потомство. Популяция оказывается единой системой с определённой совокупностью аллелей и генотипов — **генофондом**.

Богатство генофонда непосредственно зависит от **генетического разнообразия** — разнообразия аллелей.

При двух аллелях одного гена существует три генотипа (AA, Aa, aa), при трёх аллелях — шесть генотипов, и далее число генотипов возрастает. Если генетическое разнообразие незначительно, то популяция менее приспособлена к условиям среды.

Резкое уменьшение численности популяции ведёт к сокращению генетического разнообразия, к обеднению генофонда и потому угрожает самому существованию популяции.

**ЭЛЕМЕНТАРНОЕ ЭВОЛЮЦИОННОЕ ЯВЛЕНИЕ** Любые изменения генофонда сказываются на частотах встречаемости аллелей и генотипов. Снижение или повышение частоты отдельных генотипов может быть вызвано гибелью особей, их миграцией из одной популяции в другую, возникновением новых мутаций, их комбинацией при скрещивании. В силу этого в популяции непрерывно одни генотипы возникают, другие исчезают, частота третьих меняется. Длительное и направленное изменение генофонда популяции получило название **элементарного эволюционного явления**, без него невозможно ни начало, ни само протекание эволюционного процесса.



По выражению известного отечественного учёного Алексея Владимировича Яблокова, генофонд популяции можно образно представить в виде «...волнующейся поверхности моря, которая никогда не бывает безжизненно спокойной, даже в самый полный штиль».

**ПОПУЛЯЦИЯ — ЭЛЕМЕНТАРНАЯ ЭВОЛЮЦИОННАЯ ЕДИНИЦА**

Процессы, приводящие к эволюционному явлению, совершаются внутри популяции. Поэтому популяция способна к эволюционному развитию. Отдельные организмы не могут претерпевать эволюционные преобразования. Особи испытывают лишь онтогенетические изменения, а длительные изменения генофонда, без которых эволюционный процесс невозможен, происходят только в популяциях. В течение многих поколений под действием естественного отбора в популяции успевают накопиться те аллели, которые обеспечивают высокую приспособленность особей к условиям данной местности. Генофонд вида также претерпевает изменения с течением времени. Поэтому вид тоже можно рассматривать как единицу эволюции, но не элементарную, поскольку вид распадается на составляющие его популяции.



**Серебровский  
Александр Сергеевич**  
1892–1948

Известный отечественный генетик, сформировал представление о генофонде.

*4.1. Особи северной (а) и южной (б) популяции обыкновенной лисицы*



**ВОПРОСЫ:**

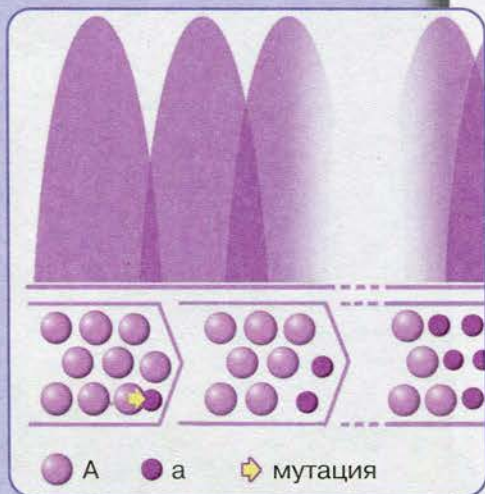
- Каково определение популяции с эволюционно-генетических позиций?
- Что называют элементарным эволюционным явлением?

**ВЫ УЗНАЕТЕ:**

● О факторах эволюции с позиций СТЭ.

**ВСПОМНИТЕ:**

- Что понимают под динамикой численности популяций?
- Каковы виды мутационной изменчивости?



4.2. Сдвиг равновесия аллелей и генотипов в генофонде популяции



**Ч**етвериков  
Сергей Сергеевич  
1880–1959

Отечественный биолог. Основные труды – в области генетики, теории эволюции, энтомологии. Перебросил мост между учением Дарвина и генетикой, заложив основы эволюционной генетики.

## ФАКТОРЫ-ПОСТАВЩИКИ МАТЕРИАЛА ДЛЯ ЭВОЛЮЦИИ. ИЗОЛЯЦИЯ

Синтетическая теория эволюции с генетических позиций углубила представление о наследственной изменчивости как факторе эволюции и раскрыла роль таких факторов, как популяционные волны и дрейф генов.


**МУТАЦИОННЫЙ ПРОЦЕСС** Источником исходного материала для эволюции служит мутационный процесс. Мутации постоянно возникают в популяциях, сдвигая равновесие аллелей и генотипов.

С.С. Четвериков рассмотрел вопрос о роли мутаций в эволюции. Он выяснил, что если мутантная особь (**aa**) не будет уничтожена естественным отбором, то скрестится с нормальной особью (**AA**). В результате образуется потомство (**Aa**), у которого мутантный аллель фенотипически не проявится. Рецессивная мутация не исчезает в массе нормальных особей, а поглощается свободным скрещиванием. При возникновении других рецессивных мутаций они тоже войдут в генофонд популяции, сохраняясь у гетерозиготных особей. Мутации будут накапливаться от поколения к поколению и оставаться скрытыми до тех пор, пока не проявятся в фенотипе гомозигот. Существование такого скрытого резерва наследственной изменчивости создаёт возможность эволюционных преобразований популяции под действием естественного отбора.



Давление мутационного процесса усиливается комбинативной изменчивостью: возникнув, отдельные мутации оказываются в соседстве с другими, возникает новое сочетание аллелей, увеличивается разнообразие генотипов.

С.С. Четвериков показал, что мутации носят случайный, ненаправленный характер и не имеют приспособительного значения. Ненаправленность мутационного процесса проявляется при искусственном мутагенезе, когда у живых организмов возникают мутации разных генов, но в большинстве они никак не связаны с защитой организма от действующего фактора.



Мутационный процесс изменяет генофонд популяции и потому является фактором микроэволюции. Однако сам по себе, без участия естественного отбора, он не приводит к формированию приспособленных организмов к среде обитания, а лишь предоставляет материал для эволюции.

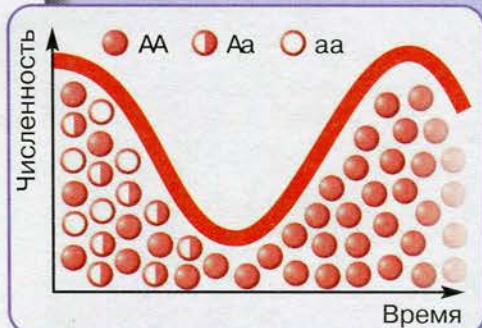
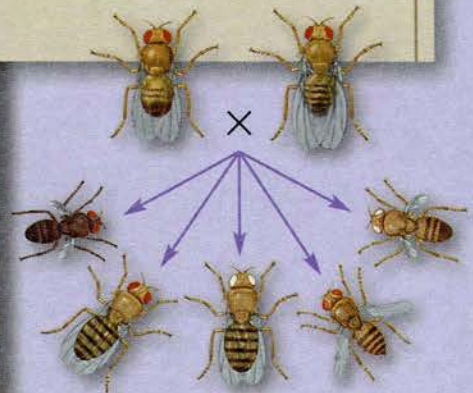
**ГЕННЫЙ ПОТОК И ПОПУЛЯЦИОННЫЕ ВОЛНЫ** Обмен генами между разными популяциями одного вида в результате миграции особей называют **генным потоком**. Перемещаясь из одной популяции в другую, особи вносят в неё новые аллели или изменяют частоты уже существующих. Генный поток усиливает давление мутационного процесса на генофонд популяции.

Колебания численности — **популяционные волны** характерны для популяций разных видов. С возрастанием численности особей в популяции увеличивается вероятность появления новых мутаций и их комбинаций. После спада численности генофонд популяции будет уже иной. Часть мутаций исчезнет вместе с гибелью несущих их особей, частота встречаемости других мутаций возрастёт.

**ДРЕЙФ ГЕНОВ** На генофонд малочисленной популяции оказывают влияние случайные колебания численности. Например, частота аллеля **a** в популяции составляет 1%. В многочисленной популяции число особей, несущих данный аллель, окажется значительным. В малочисленной популяции может присутствовать только одна копия аллеля **a**. Если особь, несущая этот аллель, не сможет оставить потомство, он будет потерян. Это случайное изменение состава генофонда малочисленной популяции носит название **генетического дрейфа**.

**ИЗОЛЯЦИЯ — ФАКТОР ЭВОЛЮЦИИ** Возникновение различных преград к свободному скрещиванию особей, приводящее к усилению существующих различий в генофондах, называют **изоляцией**. Пока особи различных популяций внутри вида могут скрещиваться и давать плодовитое потомство, вид остаётся целостной и единой системой. Прерывание генного потока между популяциями может привести к формированию нового генофонда, отличного от генофонда родительского вида.

Первые исследования природных популяций дрозофил, проведённые под руководством С.С. Четверикова, доказали, что любая особь несёт несколько мутаций. При скрещивании между собой особей из потомства одной самки дрозофилы в течение ряда поколений обнаруживается множество скрытых рецессивных мутаций. Вид как «губка насыщен мутациями», составляющими неисчерпаемый материал для эволюции.



4.3. Влияние популяционных волн и дрейфа генов на генофонд популяции

#### ВОПРОСЫ:

- В чём заключается значение мутационного процесса и популяционных волн для эволюции?
- Что понимается под генетическим дрейфом?
- Какова роль изоляции в эволюции?

**ВЫ УЗНАЕТЕ:**

● Что нового вносит СТЭ в понимание естественного отбора и процесса видообразования.  
<http://kurokam.ru>

**ВСПОМНИТЕ:**

- Примеры движущего и стабилизирующего отборов.
- Примеры приспособленности организмов к условиям среды обитания.
- Различия географического и экологического способов видообразования.
- Черты приспособленности птиц семейства Тетеревиные к жизни в условиях нижнего яруса леса.

Известно много примеров стабилизирующего отбора. Например, в Англии из-за снегопада и сильных ветров преимущественно погибали воробьи, имевшие либо длинные, либо короткие крылья. Особи со средним размером крыльев выживали.

<http://kurokam.ru>

*4.4. Реликтовый вид — результат действия стабилизирующего отбора*



## ЕСТЕСТВЕННЫЙ ОТБОР И ЕГО РЕЗУЛЬТАТЫ

**В** основе учения Дарвина лежат чётко сформулированные положения о наследственной изменчивости, борьбе за существование и естественном отборе. Идея естественного отбора, действующего на основе мелких наследственных изменений, занимает ведущее место и в синтетической теории эволюции.

### ЕСТЕСТВЕННЫЙ ОТБОР С ТОЧКИ ЗРЕНИЯ ГЕНЕТИКИ

Действие отбора основано на том, что особи одной популяции имеют хотя и сходные, но всё же разные генотипы. Естественный отбор приводит к тому, что носители одних генотипов оставляют потомков больше, чем носители других, что вызывает изменение генофонда популяции. Возможность оставить потомство зависит от многих свойств организма: его выживаемости, быстроты достижения половозрелого возраста, продолжительности репродуктивного периода, способности к скрещиванию, плодовитости. Совокупность этих свойств называют **приспособленностью** особей к условиям среды обитания. Особи, менее приспособленные к условиям среды обитания, частично или полностью устраняются от размножения.

В зависимости от условий обитания популяций формы естественного отбора могут быть разными. Движущий отбор действует в популяциях, среда обитания которых изменяется и приводит к появлению особей с новыми признаками. Стабилизирующий отбор происходит в относительно неизменных условиях. В результате наблюдается фенотипическое сходство всех особей популяции. В целом естественный отбор играет в природе творческую роль. Накапливая полезные для популяции и вида наследственные изменения и выбраковывая вредные, он постепенно создаёт новые, более совершенные и приспособленные к среде обитания виды.

### ФОРМИРОВАНИЕ ПРИСПОСОБЛЕННОСТИ ОРГАНИЗМОВ

Из учения Дарвина о естественном отборе как процессе выживания и размножения наиболее

приспособленных следует, что он основной фактор, обеспечивающий формирование приспособлений у организмов к среде обитания.

Из поколения в поколение на основе накопления и усиления полезных в данных условиях среды наследственных изменений совершенствуются черты приспособленности живых организмов.



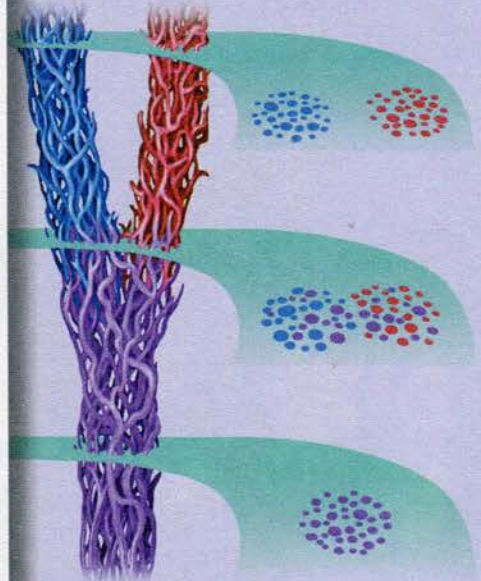
**ГЕНЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ВИДООБРАЗОВАНИЯ** Каждый вид живых организмов представляет собой генетически целостную систему. Основа этой целостности — единый генофонд. У каждого вида свой уникальный генофонд, обеспечивающий его приспособленность к условиям обитания. Сущность видообразования с генетических позиций состоит в формировании нового генофонда, отличного от родительского. Это происходит длительно и постепенно, так как генофонд родительского вида обладает большой устойчивостью.

В зависимости от природы изолирующих барьеров различают экологическое и географическое видообразование. Яркий пример видообразования в результате географической изоляции — уникальность островных популяций. В новых условиях (на островах) естественный отбор меняет направление, что приводит к возникновению многих различий между островной и материковой популяциями. В результате возможность свободного скрещивания между ними исчезает, наступает репродуктивная изоляция.

При экологическом видообразовании изолированные популяции находятся в пределах прежнего ареала, но различаются, например, сроками размножения.

Наряду с постепенным видообразованием существует и внезапное. Например, в случае полиплоидии и отдалённой гибридизации практически сразу возникает репродуктивная изоляция, т.е. видообразование совершается скачкообразно, внезапно.

*4.5. Естественный отбор — фактор, обеспечивающий формирование приспособлений, например у тетеревиных к жизни в нижнем ярусе леса*



4.6. Видообразование

#### **ВОПРОСЫ:**

- Что представляет собой естественный отбор с точки зрения генетики?
- Как формируются приспособления?
- Каковы генетические основы видообразования?
- Приведите примеры внезапного видообразования.

**ВЫ УЗНАЕТЕ:**

- О различии микро- и макроэволюции.
- О связи исторического развития с онтогенезом.

**ВСПОМНИТЕ:**

- Закон гомологических рядов в наследственной изменчивости.
- Каковы прогрессивные черты строения покрытосеменных, млекопитающих?

**4.7. Сходство зародышей позвоночных животных**

РЫБА    ЧЕРЕПАХА    ЧЕЛОВЕК

Эмбриологические исследования показали, что биогенетический закон справедлив только в общих чертах. Фактически нет ни одной эмбриональной стадии развития, в которой бы зародыш полностью повторял строение предков. Установлено также, что в онтогенезе повторяется строение не взрослых стадий предков, а эмбрионов. Так, у зародышей млекопитающих не образуется жаберный аппарат взрослых рыб, а происходит закладка жабр зародышей рыб.

**МАКРОЭВОЛЮЦИЯ:  
ЗАКОНЫ И ЗАКОНОМЕРНОСТИ**

Развитие эволюционной теории способствовало становлению и развитию эволюционной морфологии, анатомии, эмбриологии и других биологических наук. В то же время биологические науки обогащали эволюционную теорию новыми фактами и положениями. В результате были установлены некоторые законы и закономерности эволюции.

**НАДВИДОВАЯ ЭВОЛЮЦИЯ**

Процесс эволюции, ведущий к формированию таксонов более высокого ранга, чем вид, называют **макроэволюцией**. Она протекает миллионы лет и потому недоступна непосредственному изучению. Процессов макроэволюции мы не видим, но можем наблюдать их результаты — разнообразие видов, представленное современными организмами или остатками живших ранее.

**БИОГЕНЕТИЧЕСКИЙ ЗАКОН**

Ещё до выхода в свет основного труда Ч. Дарвина о происхождении видов русский эмбриолог Карл Бэр установил, что эмбрионы позвоночных животных имеют большее сходство между собой, чем взрослые формы. Удивительное сходство зародышей касается их внешней и внутренней организации. По мере развития сходство между зародышами ослабевает и начинают проявляться черты тех классов, к которым они принадлежат.



В закономерном сходстве ранних стадий эмбриогенеза Ч. Дарвин увидел важное доказательство эволюции. Он отметил наличие взаимосвязей между индивидуальным развитием организмов (онтогенезом) и их эволюционным развитием (филогенезом). Эта идея впоследствии подтвердилась исследованиями немецких учёных Фрица Мюллера и Эрнста Геккеля, которые установили **биогенетический закон**: каждая особь в индивидуальном развитии повторяет историю развития своего вида, или онтогенез есть краткое повторение филогенеза. Биогенетический закон позволяет устанавливать родственные связи между видами.

**КОНВЕРГЕНЦИЯ** У организмов разных видов, не связанных близким родством, но обитающих в экосистемах сходного типа, могут возникать сходные приспособительные признаки. Это явление называют **конвергенцией** (лат. *convergo* — схожусь). Конвергентное сходство может затрагивать любую сторону биологии организмов: поведение, способы питания, размножение, форму тела, передвижение. Признаки, возникшие в результате конвергенции, называют **аналогичными**. Они направлены на выполнение сходных функций, но не свидетельствуют о генетическом родстве. Противоположное явление — расхождение признаков организмов, имеющих общего предка, обусловленное приспособлением к обитанию в разных средах, — называют **дивергенцией**.



4.8. Конвергентное развитие признаков у животных

**ПАРАЛЛЕЛИЗМ** Возникновение сходных приспособительных признаков, обусловленных сходными условиями существования, у относительно родственных видов называют **параллелизмом**. Явление параллельной эволюции широко распространено в природе. Особенности строения, возникшие в результате параллельной эволюции, носят название **гомологичных**, план строения гомологичных органов унаследован от общих предков.



Наличие у организмов гомологичных органов свидетельствует о единстве их происхождения. Например, форма тела и конечности морских млекопитающих имеют общие черты строения.



**ЗАКОН НЕОБРАТИМОСТИ ЭВОЛЮЦИИ** При исчезновении вида повторение его отдельных признаков у организмов других видов возможно. Однако повторение всего комплекса признаков вида невероятно. С позиций современной науки ясно, что каждый вид состоит из отличающихся друг от друга популяций. Генофонд каждой популяции обновляется в результате мутаций и потому никогда не копирует генофонд предыдущих поколений. Генетически обновлённая популяция вступает в другие отношения с условиями внешней среды, и результаты естественного отбора будут иными. Поэтому один и тот же вид не может возникнуть дважды. **Вид — уникальный результат эволюции, его утрата невосполнима.**

#### ВОПРОСЫ:

- В чём заключается сущность биогенетического закона?
- Чем обусловлена конвергенция?
- О чём свидетельствует наличие гомологичных органов у организмов?



**ВЫ УЗНАЕТЕ:**

О вкладе палеонтологии в эволюционную теорию.

**ВСПОМНИТЕ:**

- Что изучает палеонтология?
- Каковы особенности внешнего строения представителей отряда непарнокопытные семейства Лошади?

Образование ископаемых остатков происходит, если организм попадает в среду, предохраняющую его от разрушения. Хорошо сохраняются ископаемые остатки в вулканическом пепле и янтаре. Многолетняя мерзлота тоже способствует сохранению. Целые туши мамонтов и шерстистых носорогов обнаружены в замороженном состоянии.

Для точного определения возраста древнейших слоёв Земли используют методы, основанные на скорости радиоактивного распада содержащихся в них элементов.

**ПАЛЕОНТОЛОГИЯ И ЭВОЛЮЦИЯ**

О длительной эволюции жизни на Земле говорят ископаемые остатки вымерших организмов. По мере перехода от более глубоких слоёв горных пород к поверхностным в них находят остатки всё более высокоорганизованных живых существ, приближённых к современным.

**ОБРАЗОВАНИЕ ИСКОПАЕМЫХ ОСТАТКОВ И ИХ ДАТИРОВАНИЕ**

После гибели организмов остатки их тел при определённых условиях могут сохраняться. Кости и древесина часто минерализуются, т.е. пропитываются минеральными солями, в результате образуются **окаменелости**. Иногда растение или животное полностью разрушается, оставляя пустую полость, точно отражающую внешние признаки организма. Это **отпечаток**.

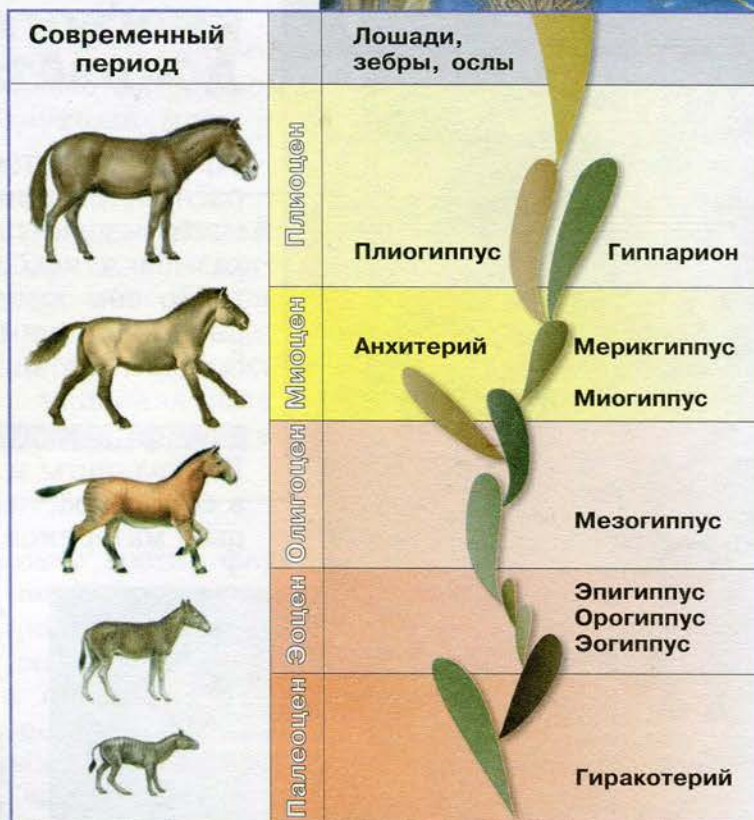
По ископаемым остаткам, сохранившимся в слоях горных пород, палеонтологи определяют систематическую принадлежность ископаемых организмов, условия и время их обитания. Учёные исходят из того, что более поверхностный геологический слой всегда моложе лежащего под ним. Для каждого геологического слоя характерен свой специфический набор животных и растений. Сходство ископаемых остатков в геологических слоях разных областей и континентов говорит о том, что эти слои имеют один возраст.

Знания о последовательности появления тех или иных организмов и возрасте различных геологических слоёв позволили составить хронологию развития жизни на Земле.

**ФИЛОГЕНЕТИЧЕСКИЕ РЯДЫ И ПЕРЕХОДНЫЕ ФОРМЫ** Данные палеонтологии служат для выяснения основных закономерностей эволюции. Однако палеонтологическая летопись редко бывает полной, и по отдельным ископаемым остаткам трудно проследить, как один вид переходит в другой. Но в некоторых случаях удаётся найти остатки организмов разных видов, последовательно сменяющих друг друга, что составляет **филогенетический ряд**.

Очень показательным в этом отношении исследование отечественного учёного Владимира Онуфриевича Ковалевского. Ему удалось восстановить филогенетический ряд лошадей.

В.О. Ковалевский показал, что современные однопалые лошади происходят от предков размером с собаку, имевших четырёхпалые передние и трёхпалые задние конечности. Обитали они в лесах и питались сочными листьями и плодами. Постепенно климат изменился, стал более засушливым, и предки лошадей стали осваивать новую среду — прерии. Естественный отбор в новых условиях шёл в направлении удлинения ног и сокращения поверхности опоры. Параллельно изменению конечностей происходило преобразование всего организма: увеличение размеров тела, изменение формы черепа, усложнение строения зубов, возникновение пищеварительного тракта, свойственного травоядным.



На примере эволюции лошадей можно проследить не только как постепенно одна предковая форма переходит в другую, но и как возникают и закрепляются адаптивные признаки. Дальнейшее изучение эволюции лошадей показало, что, кроме главного ствола, приведшего к современным лошадям, в эволюции данного семейства было несколько боковых ветвей. Большинству родов и видов было суждено вымирание, так как они не смогли адаптироваться к постоянно изменяющимся условиям среды и конкурировать с более приспособленными видами. Такая судьба постигла 17 из 18 родов семейства. В настоящее время оно представлено одним родом с несколькими видами.

В пользу эволюции свидетельствуют также ископаемые остатки **переходных форм**, сочетающие в себе отличительные признаки разных современных крупных систематических групп. Это стегоцефалы, которые имели признаки рыб и земноводных, семенные папоротники с признаками папоротниковидных и голосеменных растений.

#### 4.9. Филогенетический ряд лошадей

Наиболее примитивные современные лошади — зебры, которых осталось три вида. Около 100 лет назад был истреблен четвёртый вид — квагга. Причиной сокращения численности зебр стало их уничтожение из-за шкур, которые очень высоко ценятся.

#### ВОПРОСЫ:

- Как сохраняются ископаемые остатки и определяется их возраст?
- О чём свидетельствует восстановленный филогенетический ряд лошадей?
- Какое значение имеет обнаружение переходных форм?

**ВЫ УЗНАЕТЕ:**

- Почему уникален животный мир Австралии.
- Чем определяется видовой состав фауны и флоры островов.

**ВСПОМНИТЕ:**

- В чём особенность сумчатых животных?
- Каково географическое положение острова Мадагаскар?

**4.10. Зоогеографические области Земли****БИОГЕОГРАФИЧЕСКИЕ ДОКАЗАТЕЛЬСТВА ЭВОЛЮЦИИ**

**Я**ркое свидетельство эволюционного процесса — распространение животных и растений по поверхности нашей планеты. Данные биogeографии доказывают: чем древнее изоляция между континентами, тем больше различий в видовом составе растений и животных; чем древнее остров, тем больше его виды отличаются от материковых.

**СРАВНЕНИЕ ФАУНЫ И ФЛОРЫ РАЗНЫХ КОНТИНЕНТОВ**

Натуралисты и учёные отмечают наличие сходства в составе растительного и животного мира некоторых материков, океанических островов. Альфред Уоллес привёл все имеющиеся сведения в систему и на её основе выделил шесть зоогеографических областей.

Степень сходства и различия между разными зоогеографическими областями неодинакова. Фауна и флора Палеарктической и Неоарктической областей имеют много общего, хотя и изолированы Беринговым проливом. Неоарктическая и Неотропическая области, наоборот, существенно отличаются, хотя и соединены сухопутной связью (Панамским перешейком).

Причины сходства и различий связаны с историей формирования материков. Так, глубокие различия в фауне Неотропической и Неоарктической областей определяются тем, что сухопутная связь между ними установилась совсем недавно. После возникновения Панамского перешейка лишь немногим видам Неотропической области удалось проникнуть на север. Северные виды более успешно распространялись, однако не оказали существенного влияния на уникальный видовой состав Южной Америки.

Только в Южной Америке живут представители отряда Неполнозубые. Также здесь сохранились птицы гоаццины, которые могут лазать, как археоптерикс, по деревьям благодаря когтям на крыле.



Сходство фауны Неоарктической и Палеарктической областей обусловлено тем, что в прошлом между ними существовал сухопутный мост — Берингов перешеек.



Особое своеобразие Австралийской зоогеографической области обусловлено тем, что материк обособился свыше 100 млн лет назад, ещё до возникновения высших плацентарных млекопитающих. Поэтому только здесь обитают яйцекладущие млекопитающие — утконос и ехидна, а также очень разнообразны сумчатые.

**ФАУНА И ФЛОРА ОСТРОВОВ** Видовой состав фауны и флоры островов целиком определяется историей их происхождения. Острова могут быть материковыми, представлять собой результат обособления части материка, и океаническими (вулканические и коралловые острова). Растительный и животный мир первых близок по составу к материковому. Однако, чем древнее остров и значительнее водная преграда, тем больше обнаруживается различий.



На Мадагаскаре нет типичных для Африки крупных копытных, хищников, высших обезьян. Мадагаскар — последнее убежище лемуру (подотряд Полуобезьяны). До появления обезьян лемуры были доминирующими приматами. Но они не смогли соперничать со своими более развитыми сородичами и исчезли повсюду, кроме Мадагаскара, который отделился от материка прежде, чем эволюционировали обезьяны. Обладая разнообразием мест обитания, Мадагаскар является прибежищем многих видов амфибий, рептилий и птиц, не обитающих больше нигде.

Иная картина обнаруживается при рассмотрении флоры и фауны океанических островов. Их видовой состав беден и является результатом случайного занесения некоторых видов течениями или ветрами. Наземные млекопитающие, амфибии и другие животные, неспособные преодолевать значительные водные преграды, на большинстве таких островов отсутствуют. Некоторые виды были завезены на острова человеком.



Галапагосские острова удалены от берегов Южной Америки на 1000 км. Оказалось, что 85 % видов галапагосских птиц нигде, кроме этого архипелага, не встречаются. Именно это наблюдал Ч. Дарвин. Он обнаружил там птиц, которые напоминали вьюрков, виденных им в Южной Америке, но при этом были мало похожи друг на друга. У этих 14 видов птиц, имевших общего предка, конкурентная борьба за корм и места гнездования была ослаблена или исчезла вовсе. Галапагосские вьюрки вошли в историю науки как первый пример влияния изоляции на видообразование.



#### ВОПРОСЫ:

- В чём причина сходства флоры и фауны Неоарктической и Палеарктической областей?
- Почему сумчатые животные столь разнообразны в Австралии?
- От чего зависит разнообразие флоры и фауны островов?

**ВЫ УЗНАЕТЕ:**

О причинах и последствиях биологического прогресса и регресса.

**ВСПОМНИТЕ:**

- Каковы факторы эволюции?
- Что такое синантропные виды?

В конце палеозоя биологического прогресса достигли из животных земноводные, а из растений папоротники, хвощи, плауны. Во время мезозоя на смену папоротникообразным пришли голосеменные, а разнообразие земноводных сменилось расцветом многих видов пресмыкающихся. В настоящее время по пути биологического прогресса развиваются прежде всего синантропные виды, а также виды, уживающиеся с человеком.

## ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ И ПУТИ ЭВОЛЮЦИОННОГО ПРОЦЕССА

Для понимания закономерностей эволюции важно не только представлять факторы и результаты эволюции, но и определять её основные направления. В разработку проблемы направленности эволюции значительный вклад внесли отечественные учёные.

**НАПРАВЛЕНИЯ ЭВОЛЮЦИИ** В ходе эволюции многие виды достигали расцвета, т.е. развивались в направлении **биологического прогресса**. Принято считать, что биологический прогресс сопровождается увеличением разнообразия популяций вида, возрастанием численности особей в популяциях, расширением ареала. В разные периоды эволюционной истории биологического прогресса достигали разные виды, отряды (порядки), классы.

В настоящее время деятельность человека характеризуется небывалым по скорости наступлением на природу и ведёт к столь быстрым изменениям среды, что виды, ещё несколько десятков лет назад развивавшиеся в направлении биологического прогресса, претерпевают **биологический регресс**. Он характеризуется противоположными биологическому прогрессу признаками: снижением численности особей, сужением ареала, сокращением числа популяций.



Выхухоль — эндемик России, находится на пути биологического регресса и открывает перечень животных, внесённых в Красную книгу. Принадлежит к древнему отряду Насекомоядные, представители которого процветали на Земле более 30 млн лет назад.

**ПУТИ ДОСТИЖЕНИЯ БИОЛОГИЧЕСКОГО ПРОГРЕССА** Только биологический прогресс гарантирует видам процветание. Алексей Николаевич Северцов показал, что биологический прогресс может быть достигнут разными путями: усложнением или упрощением организации, а также в результате формирования частных приспособлений организмов к условиям среды обитания.



**ВЫ УЗНАЕТЕ:**

● Что в эволюции видов есть ограничения и запреты.

**ВСПОМНИТЕ:**

● Каковы особенности строения дыхательной и кровеносной систем земноводных?

Исходя из генетических ограничений можно, например, утверждать, что у всех представителей семейства Грызуны отсутствует предрасположенность к образованию рогов.

Растения семейства Розоцветные имеют белую, жёлтую, розовую окраску венчика цветка. Но никогда в пределах семейства не встречаются виды с голубыми или синими цветками, так как путь, ведущий к образованию синего пигмента, в геноме этих растений не запрограммирован.

## НАПРАВЛЕННОСТЬ И ПРЕДСКАЗУЕМОСТЬ ЭВОЛЮЦИИ

Общая направленность эволюции живой природы заключается в её прогрессивном усложнении от низших форм к высшим. В эволюции конкретной группы направленность связана с ограниченным выбором реальных путей развития из их потенциального разнообразия. Направленность проявляется в ограничениях или запретах эволюции.

**ГЕНЕТИЧЕСКИЕ ОГРАНИЧЕНИЯ ЭВОЛЮЦИИ**

Согласно закону гомологических рядов в наследственной изменчивости для каждого генотипа характерен хотя и достаточно широкий, но всё же ограниченный набор возможных мутаций, т.е. определённый спектр изменчивости. Возникновение некоторых других мутаций по тем или иным причинам для данного генотипа невозможно, они как бы запрещены. Соответственно и генофонд любой популяции и биологического вида в целом также характеризуется определённым спектром изменчивости, ограничивающим возможности эволюционных изменений.

Эволюционные ограничения и запреты могут не только действовать на генетическом уровне, но и проявляться на всех этапах онтогенеза. В результате мутации, разрешённые на уровне клетки, не могут реализоваться в филогенезе из-за своего несоответствия морфофизиологической основе организма.

**МОРФОФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ ОГРАНИЧЕНИЯ ЭВОЛЮЦИИ**

Морфофизиологические эволюционные ограничения обусловлены тем, что каждый организм представляет собой целостную систему. Поэтому, например, усиление какой-либо группы мышц не может происходить без соответствующего усиления скелетных структур и некоторых других мышечных групп, поскольку это отразилось бы на согласованной деятельности всей скелетно-мышечной системы.

Морфофизиологические ограничения могут возникать в результате развития определённых приспособлений. Например, ограничения такого рода сложились в организации земноводных в связи с несовершенным строением их дыхатель-

ной системы и частичным выполнением функции газообмена кожей. В результате у амфибий невозможно образование защитных роговых чешуй, а также развитие теплокровности, что резко сужает круг возможных мест обитания.

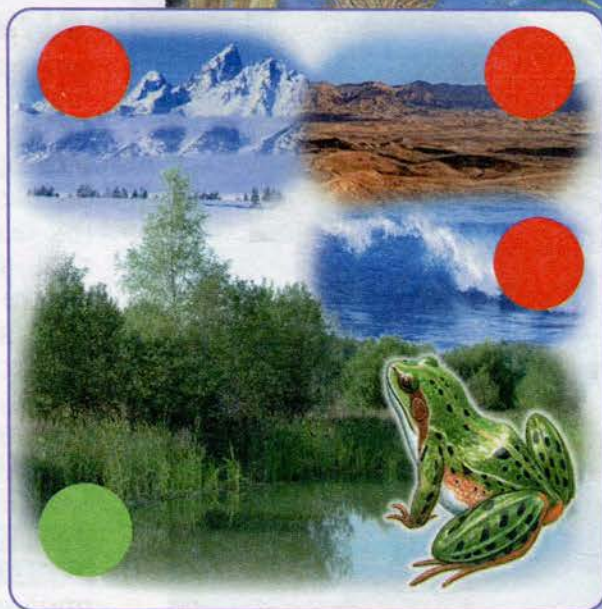
Эволюционные ограничения действуют также на популяционно-видовом уровне. Исторически сложившаяся структура популяции, степень её изоляции, особенности поведения особей, генетическая замкнутость вида накладывают ограничения на проявление определённых тенденций эволюции.

Эволюция основывается на естественном отборе — вероятностном процессе, действующем на материале ненаправленных мутаций. Однако наличие генетических, морфофизиологических и других ограничений ставит проявление случайности в эволюционном процессе в определённые рамки, т.е. эволюция идёт по намеченному пути.

**ПРЕДСКАЗУЕМОСТЬ ЭВОЛЮЦИОННОГО ПРОЦЕССА** С позиций учения Дарвина эволюция непредсказуема, так как её направление определяется только отбором случайно возникающих мутаций. В настоящее время всё большее признание получает идея отечественного учёного Льва Семёновича Берга о предсказуемости эволюционного процесса. Научное обоснование этой идеи даёт закон гомологических рядов в наследственной изменчивости и учение об эволюционных ограничениях и запретах. Закон доказывает, что наследственная изменчивость вида неограничена, имеет свои пределы, поэтому можно предвидеть общее направление эволюции вида. Учение об эволюционных запретах утверждает, что в эволюции существует определённая ограниченность путей преобразования признаков и структур, что придаёт процессу эволюции направленный характер.



Зная эволюционные ограничения, которые сами по себе являются итогом предшествующего исторического развития видов, и оценивая возможное направление действия отбора, делая возможную поправку на влияние случайных факторов, можно в какой-то степени предсказывать эволюцию.



*4.12. Морфофизиологические ограничения на примере земноводных*

Примером прогнозирования на основе учения об эволюционных запретах может служить следующий факт. Озёрная лягушка — один из существенных вредителей рыбного хозяйства в дельте Волги. Она интенсивно пожирает молодь разводимой там рыбы. Однако можно с уверенностью сказать, что представителей этого вида не стоит опасаться при разведении рыб в условиях Каспия.

#### **ВОПРОСЫ:**

- Что понимают под генетическими и морфофизиологическими ограничениями эволюции?
- Предположите, какие морфофизиологические ограничения запрещают эволюцию пресмыкающихся в направлении приобретения теплокровности.
- Какой вклад внёс закон гомологических рядов в развитие представлений о направленности эволюционного процесса?



**ВЫ УЗНАЕТЕ:**

● Что эволюционная теория продолжает развиваться в атмосфере острых научных дискуссий.

**ВСПОМНИТЕ:**

● Каковы основные положения СТЭ и классического дарвинизма?



**Берг Лев Семёнович**  
1876–1950

Отечественный физикогеограф и биолог. Основные труды по биологии написаны в области ихтиологии. Выступил с теорией номогенеза, подвергшейся серьёзной критике (1922).



**Кимура Мото**  
1924–1994

Японский биолог. Объединив теоретическую популяционную генетику с данными молекулярной эволюции, он развил нейтральную теорию молекулярной эволюции, в которой генетический дрейф выступает важнейшим фактором изменения частоты аллелей в популяции (1968).

## АНТИДАРВИНОВСКИЕ КОНЦЕПЦИИ ЭВОЛЮЦИИ

**И**стория эволюционной теории не закончилась. Эволюционная биология продолжает развиваться на основе обобщения богатейшего экспериментального материала из различных областей биологии. Новые открытия заставляют новые поколения биологов по-новому воспринимать и трактовать закономерности эволюционного процесса. И всё же основной путь развития эволюционной биологии лежит в русле идей, заложенных Ч. Дарвином.

### РАЗВИТИЕ СИНТЕТИЧЕСКОЙ ТЕОРИИ ЭВОЛЮЦИИ. НОМОГЕНЕЗ

Поскольку ведущей идеей дарвинизма продолжает оставаться принцип естественного отбора, его оппоненты направляют свои доводы прежде всего против него. Так, Л.С. Берг в книге «Номогенез, или Эволюция на основе закономерностей» (1922) противопоставил эволюции путём отбора случайно возникающих наследственных уклонений эволюцию на основе реализации неких внутренних законов (греч. *nomos* — закон), присущих организмам.

Взгляды Л.С. Берга не получили поддержки и развития в нашей стране. Однако позднее, в 1960-х гг., его концепцию «оживил» и развил известный биолог Александр Александрович Любищев.



Концепция номогенеза носит антидарвиновский характер. Однако её положение о направленном характере эволюции получило дальнейшее обоснование и развитие в законе гомологических рядов в наследственной изменчивости Н.И. Вавилова, что привело к созданию учения об эволюционных ограничениях и запретах.

### КОНЦЕПЦИЯ НЕЙТРАЛЬНОЙ ЭВОЛЮЦИИ И ДРУГИЕ КОНЦЕПЦИИ

Современные антидарвинисты противопоставляют идее естественного отбора научные открытия. Так, в связи с открытием эволюционной роли дрейфа генов оппоненты дарвинизма придают решающее значение в микроэволюции случайным явлениям.

Ярким примером может служить концепция молекулярного дрейфа, или нейтральной эволю-

ции, японского генетика М. Кимуры. Автор исходит из положения молекулярной генетики о том, что среди особей одного вида широко распространены нейтральные мутации. Такие мутации не вызывают существенных изменений в структуре и свойствах белков, не имеют приспособительного значения, но распространяются вопреки естественному отбору. Основываясь на этом, учёный предположил, что движущей силой эволюции служит не естественный отбор, а случайное суммирование мутаций в результате дрейфа генов. Данная концепция подвергается анализу и критике. Её противники доказывают, что эволюция, совершающаяся лишь на основе случайного комбинирования мутаций, не могла бы идти теми темпами, которыми она, судя по данным палеонтологии, происходит. Иными словами, организмы любого вида вымерли бы раньше, чем возникла бы случайная комбинация нейтральных мутаций.

Молекулярный биолог Сусуми Оно выдвинул гипотезу об эволюции, идущей на основе мутирования в нуклеотидных последовательностях «молчащей ДНК». Накопление мутаций под покровом действия нормальных генов, по его мнению, приводит к появлению новых признаков, а затем и новых видов.

Традиционно наиболее сложными вопросами в эволюционной теории являются закономерности макроэволюции. Поэтому многие антидарвиновские гипотезы возникли в попытках решить проблемы именно в этой области исследования. В последние десятилетия дискуссии приняли наиболее острый характер и основаны на стремительном распространении взглядов о ведущей роли в макроэволюции крупных хромосомных мутаций. Против подобных предположений говорят данные о том, что, во-первых, макромутации очень редки, во-вторых, они разрушают согласованное действие систем органов и существенно снижают вероятность выживания несущих их особей.



Синтетическая теория эволюции отличается от других эволюционных концепций стройной системой логических рассуждений и доказательств, связью с практической деятельностью человека. На сегодняшний день ей нет достойной альтернативы.



**Полянский**  
**Юрий Иванович**  
1904–1993

Отечественный протозоолог, преподаватель Российского государственного педагогического университета им. А.И. Герцена в Санкт-Петербурге. Основные труды – по систематике, цитологии, морфологии и физиологии простейших, паразитологии, экологии, эволюционному учению. <http://kurokam.ru>

Известный отечественный учёный Ю.И. Полянский отмечал: «Знакомясь с новейшей историей эволюционной теории, обращаешь внимание на характерную черту. Как только становятся известными какие-либо факты, не встречавшиеся ранее в дарвиновской теории, последняя объявляется устаревшей, дарвинизм – ниспровергнутым, а эволюция – протекающей по другим законам».

#### ВОПРОСЫ:

- Какое положение в дарвиновской теории эволюции опровергается прежде всего? Почему?
- В чём сущность гипотезы нейтральной эволюции? Согласны ли вы с ней? Аргументируйте ответ.



## ПОДВЕДЁМ ИТОГИ

- Синтетическая теория эволюции тесно связана идеей естественного отбора с учением Дарвина. Вместе с тем она даёт более конкретное и всестороннее понимание эволюции с позиций современной науки.
- Центральное место в СТЭ отводится учению о микроэволюции. Основываясь на данных генетики, учение о микроэволюции развивает представления о факторах и результатах эволюционного процесса.
- На уровне макроэволюции обнаруживаются наиболее общие закономерности: направления эволюции — биологический прогресс и биологический регресс; основные пути эволюции — ароморфоз, идиоадаптация, общая дегенерация, а также конвергенция и параллелизм.
- Изучение макроэволюции позволило пополнить СТЭ важным положением о предсказуемости эволюции: зная эволюционные запреты и оценивая возможное влияние эволюционных факторов, можно предвидеть общее направление эволюции вида.
- Эволюционная теория не застывшая догма, а центральное теоретическое направление биологии, живо откликающееся на каждое новое крупное открытие в любой области естествознания.



### ВОПРОСЫ ДЛЯ ОБСУЖДЕНИЯ:

- Происходит ли в настоящее время на лугу естественный отбор среди зелёных кузнечиков по окраске тела? Какая это форма отбора? Ответ обоснуйте.
- Почему Австралию называют «убежищем живых ископаемых»?
- Существуют ли в эволюции запретные пути или эволюционный процесс открывает перед любым видом безграничные возможности? Свой ответ поясните.



## ГЛАВА V

# ПРОИСХОЖДЕНИЕ И ИСТОРИЧЕСКОЕ РАЗВИТИЕ ЖИЗНИ НА ЗЕМЛЕ. МЕСТО ЧЕЛОВЕКА В БИОСФЕРЕ



Уникальность человека в том, что он обладает разумом и способен к научному познанию. Посредством человека природа как бы познаёт самоё себя и определяет своё будущее. Исследуя закономерности биосферных процессов, человек может способствовать развитию и процветанию жизни. В этом, возможно, и заключается эволюционно обусловленная биосферная функция человечества. Её реализация зависит не только от соответствующих технологий, экономических и политических условий, но и от того, поймёт ли каждый человек и человечество в целом свою причастность к истории и ответственность перед будущим.

**ВЫ УЗНАЕТЕ:**

По каким признакам живое отличаются от неживого.

**ВСПОМНИТЕ:**

- Каковы общие свойства живых систем?
- Каковы функции живого вещества?
- Каковы компоненты экосистемы?

Органическим молекулам свойственна зеркальная изомерия, они могут существовать в двух структурных формах, схожих и вместе с тем различных, как левая и правая ладони. В двух зеркальных формах существуют и молекулярные «кирпичики» живого — аминокислоты и сахара. При этом белки содержат только «левые» аминокислоты, а нуклеиновые кислоты — только «правые» сахара! Это важнейшая черта, отличающая живое от неживого. Неживой природе присуща тенденция к установлению зеркальной симметрии — равновесия между левым и правым.

В самом общем виде живой организм можно определить как открытую систему, способную на основе полученной извне энергии поддерживать и самовоспроизводить свою специфическую структуру.

*Борис Михайлович Медников*

**СУЩНОСТЬ ЖИЗНИ**

**Ж**изнь — одно из самых сложных явлений природы. Её сущность, возникновение и развитие истари приковывали к себе человеческую мысль.

**ЖИВАЯ СИСТЕМА** Определение жизни, ставшее классическим, дал, опираясь на данные науки конца XIX в., Фридрих Энгельс: «Жизнь есть способ существования белковых тел, существенным моментом которого является постоянный обмен веществ с окружающей их внешней природой, причём с прекращением этого обмена прекращается и жизнь, что приводит к разложению белка».

Понимание жизни как процесса обмена веществ не потеряло значения до настоящего времени. Однако оно дополняется новыми положениями, основанными на данных самых разных отраслей естествознания. Установлено, что наряду с белками огромную роль в явлениях жизни играют нуклеиновые кислоты, фосфорорганические соединения, липиды, углеводы, вода и минеральные вещества.



Живые организмы состоят из множества элементов, взаимосвязанных в единое целое, т.е. представляют собой **сложноорганизованные открытые системы**. Каждая система имеет специфическую для данного вида организмов **структуру** — наиболее устойчивые связи и отношения между элементами системы и их расположение в пространстве. Обмен веществ и превращения энергии — условие поддержания и самовоспроизведения необходимой для жизни структуры.

Специфичность структуры обусловлена генетической информацией, записанной в молекулах ДНК. В процессе синтеза белков в генетической информации неизбежно возникают мутации, вследствие чего копии генетических программ отличаются друг от друга. Наследственные изменения приводят к неоднородности особей одного вида. Неоднородность организмов создаёт предпосылки для действия естественного отбора, приводящего в зависимости от условий либо к усложнению, либо к упрощению организации. Выходит, что сама жизнь как самовоспроизводящийся процесс является предпосылкой эволюции.

**ЖИВОЕ ВЕЩЕСТВО** В учении о биосфере В.И. Вернадский вместо терминов «жизнь», «живое» как неточных, выходящих за рамки естествознания в область философии, использовал понятие «живое вещество». В.И. Вернадский понимал под живым веществом «совокупность организмов, сведённых к их весу, химическому составу и энергии». В этом случае живое вещество имеет количественные характеристики, его можно изучать с помощью методов математики.



Живому веществу присущи особые свойства: оно существует в форме чередования поколений и генетически связано с живым веществом всех прошлых эпох, стремится заполнить собой всё незанятое пространство, организовано в сообщества.

**ЭКОСИСТЕМНАЯ СУЩНОСТЬ ЖИЗНИ** Согласно В.И. Вернадскому жизнь на Земле существует не в форме отдельных организмов и видов, а в форме глобальной экосистемы — биосферы. На уровне биосферы проявляется новое уникальное свойство живого вещества — способность использовать космическую энергию для преобразования косного вещества планеты.

В.И. Вернадский считал, что если планетарная жизнь организована в форме экосистемы, то и возникнуть она могла также только в форме экосистемы. Древнейшие живые организмы — прокариоты способны выполнять все функции живого вещества. Значит, возможна биосфера, состоящая из одних прокариот. Вероятно, таковой она и была в прошлом. Это доказывают древнейшие известковые породы — **строматолиты**. Предполагают, что они образовались в результате жизнедеятельности сложного сообщества — мата, состоявшего из нескольких слоёв бактерий, выполнявших разные функции. Эти данные говорят о том, что жизнь на Земле появилась в форме экосистемы, что согласуется с представлениями В.И. Вернадского.



Важнейшие свойства живого вещества — целостность, системность — во всей полноте присущи биосфере. Только в составе биосферы могут жить и развиваться клетки, организмы, популяции, виды, природные сообщества (биоценозы).

Современные маты изучены достаточно хорошо. Они представляют собой плотные коврики толщиной около 1,5–2 см, встречающиеся на мелководьях и в литоральной зоне морских лагун и солёных озёр. Строматолиты, созданные древними матами, обнаружены в Канаде, Австралии, Африке, на Урале, в Сибири. Они имеют вид столбов и состоят из специфических тонких слоёв.



#### ВОПРОСЫ:

- Каковы важнейшие признаки живого?
- Почему живые системы называют открытыми?
- Что понимают под экосистемной организацией жизни?

**ВЫ УЗНАЕТЕ:**

● Что согласно гипотезам абиогенеза биологической эволюции предшествовала химическая эволюция.

**ВСПОМНИТЕ:**

- Каковы особенности строения белков и нуклеиновых кислот?
- Положения клеточной теории о происхождении любой клетки.



**Опарин**  
**Александр Иванович**  
1894–1980

Крупнейший отечественный биохимик, создатель теории происхождения жизни на Земле.

5.1. Схема абиогенеза



Предположение А.И. Опарина получило широкое признание и было подтверждено экспериментами. Особую известность получили опыты Гарольда Юри и Стенли Миллера (1955). Учёные получили из неорганических соединений (смеси газов) мочевины, уксусную и муравьиную кислоты, несколько аминокислот.

## АБИОГЕНЕЗ: ВОЗНИКНОВЕНИЕ ЖИЗНИ — РЕЗУЛЬТАТ РАЗВИТИЯ НЕЖИВОЙ ПРИРОДЫ

Единой целостной теории происхождения жизни нет. Однако высказано множество гипотез, которые можно свести к двум противоположным подходам — биогенезу и абиогенезу. Сторонники биогенеза полагают, что живое происходит только от живого. Их оппоненты считают, что возможно происхождение живой материи от неживой.

### АБИОГЕНЕЗ. ГИПОТЕЗА ОПАРИНА

В начале XX в. существовало убеждение, что органические вещества могут возникать только биогенно, путём синтеза организмами. Однако А.И. Опарин высказал предположение, что 4–4,5 млрд лет назад органические соединения могли возникнуть из неорганических (абиогенно) в условиях древней атмосферы, не содержащей свободного кислорода (состояла из аммиака, метана, водорода и паров воды).

Этапы абиогенного синтеза выстраивались в определённой последовательности.

К середине XX в. возможность абиогенного синтеза мономеров и биополимеров была экспериментально доказана. Американский учёный Сидней Фокс синтезировал почти все аминокислоты и получил белковоподобные вещества, которые расщеплялись ферментами и обладали каталитической активностью. Позднее были получены нуклеотиды и даже короткие цепочки нуклеиновых кислот.

Чтобы выяснить, как осуществлялся переход от биополимеров к простейшим живым организмам, А.И. Опарин экспериментировал с моделями пробионтов — **коацерватными каплями**. Они образуются в коллоидных растворах высокомолекулярных соединений и представляют собой сгустки объёмом  $10^{-8}$ – $10^{-6}$  см<sup>3</sup>. В коацерватные капли могут поступать различные вещества из окружающей среды. В них может идти синтез новых соединений. Под действием механических сил коацерватные капли дробятся. А.И. Опарин предположил, что эволюция пробионтов могла в конце концов привести к возникновению систем, в которых обмен веществ сочетался с самовоспроизведением, т.е. к возникновению живых организмов.

**СРЕДА ВОЗНИКНОВЕНИЯ ЖИЗНИ** Основным компонентом живого — вода. В связи с этим А.И. Опарин предположил, что жизнь возникла в водной среде. В настоящее время широко распространено мнение, что наиболее вероятной средой возникновения жизни могут быть прибрежные районы морей и океанов. Здесь, на границе водной и наземно-воздушной сред, создавались благоприятные условия для синтеза биополимеров. В последние годы внимание учёных привлекают вулканические области Земли как один из возможных источников зарождения жизни. При извержении вулканов выделяется огромное количество газов, состав которых сходен с предполагаемой первичной атмосферой Земли.

#### ПОЛОЖЕНИЯ АБИОГЕНЕЗА

- Возникновение жизни — результат химической эволюции соединений углерода.
- Древняя атмосфера Земли имела восстановительный характер.
- Жизнь зародилась в особой среде (в воде, вулканических областях, на стыке моря и суши) в форме клеток (микроорганизмов) около 4 млрд лет назад.

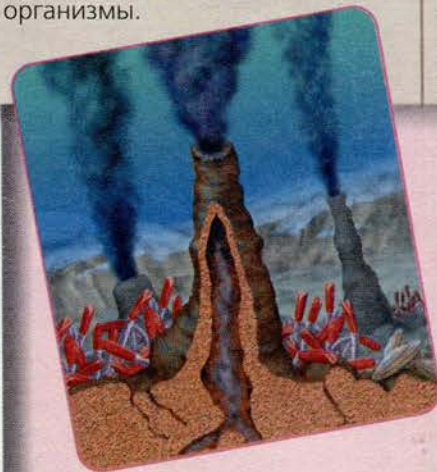
В последние десятилетия исследование проблемы происхождения жизни с позиции абиогенеза зашло в тупик. Разрыв между тем максимумом, который может дать химия (абиогенные синтезы биополимеров), и тем минимумом, который требует биология (минимальная клетка), невероятно велик, и неясно, как его можно заполнить.



5.2. Коацерватные капли

<http://kurokam.ru>

В 1977 г. в океанических жёлобах обнаружены «чёрные курильщики». На глубине в несколько тысяч метров при давлении в сотни атмосфер из «трубок» выходит вода с температурой +200...+300 °С, обогащённая газами, свойственными вулканическим областям. Вокруг «чёрных курильщиков» открыты многие десятки новых родов, семейств и даже классов животных. Разнообразно представлены здесь и микроорганизмы.



<http://kurokam.ru>

#### ВОПРОСЫ:

- В чём сущность гипотезы Опарина?
- При каких условиях окружающей среды могла возникнуть жизнь согласно абиогенезу?
- Существуют ли факты, доказывающие гипотезу абиогенеза? Ответ обоснуйте.



**ВЫ УЗНАЕТЕ:**

● О вкладе В.И. Вернадского в развитие идей биогенеза.

**ВСПОМНИТЕ:**

- Какие функции в биосфере выполняет живое вещество?
- В чём особенности процессов жизнедеятельности прокариот?

Шотландский учёный-геолог Джеймс Геттон ещё во второй половине XVIII в. высказал странно прозвучавшую тогда идею: в геологии не было ни начала, ни конца, она имеет дело с явлениями планетарно вечными, к ним относится и жизнь. Идеи Геттона развивал английский геолог Чарлз Лайель (1883), сформулировав принцип актуализма: факторы, которые действуют ныне (космические излучения, вулканическая деятельность, землетрясения и т.д.), определяли развитие природы и в прошлом.

По проблеме происхождения жизни В.И. Вернадский ещё в 20-х гг. прошлого столетия выступал с публичными лекциями в Политехническом музее. Этой теме он посвятил несколько статей: «Начало и вечность жизни», «Об условиях появления жизни на Земле», «Начало жизни и эволюция видов».

**ЖИВОЕ ТОЛЬКО ОТ ЖИВОГО — ТЕОРИЯ БИОГЕНЕЗА**

**В** основе теории биогенеза лежит признание вечности, космичности жизни, коренного отличия живого вещества от косного. Она опирается на клеточную теорию, учение В.И. Вернадского о биосфере, положения об экосистемной сущности жизни.

**ИЗ ИСТОРИИ БИОГЕНЕЗА** У истоков теории биогенеза стоят работы Франческо Реди (1668). Он положил кусочки мяса в сосуды, часть из них оставил открытыми, а часть прикрыл кисеей. Через некоторое время учёный обнаружил, что в открытых сосудах гнилое мясо кишело личинками мух, а в закрытых сосудах личинки отсутствовали. Следовательно, личинки появились из яиц, отложенных мухами, а не зарождались из мяса. Вывод, который сделал учёный, — **всё живое от живого**.

**ПОЛОЖЕНИЯ БИОГЕНЕЗА, СФОРМУЛИРОВАННЫЕ ВЕРНАДСКИМ** Одним из первых обосновал связь космоса с жизнью на Земле В.И. Вернадский. Он утверждал, что жизнь представляет собой буфер между космосом и косным (неживым) веществом Земли. Буфер способен использовать космическую энергию для преобразования планетарного вещества.

**ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПОЛОЖЕНИЯ В.И. ВЕРНАДСКОГО**

- Жизнь вечна, поскольку вечен космос, и всегда передавалась путём биогенеза.
- Жизнь, извечно присущая Вселенной, стала новой на Земле, её зародыши приносились извне постоянно, но укрепились на Земле лишь при благоприятных для этого условиях.
- Жизнь на Земле была всегда, геологически (планетарно) она вечна. Время существования планеты — время существования на ней жизни.
- Жизнь на Земле была распространена всюду. Она не могла возникнуть случайно и в какой-то особенной среде. Её следует понимать как явление, присущее биосфере в целом, а не отдельным видам, организмам или скоплениям молекул. Древнейшие формы жизни — прокариоты — способны выполнять все функции в биосфере и осуществлять круговорот веществ. Значит, возможна биосфера, состоящая из одних прокариот.

● Живое вещество не могло произойти от косного. Между этими двумя состояниями материи нет никаких промежуточных ступеней. Напротив, живое вещество благодаря способности поглощать энергию солнечных лучей многократно ускоряло изменение косного вещества планеты.

Теоретические положения В.И. Вернадского опираются на обобщения, основанные на опыте и наблюдении:

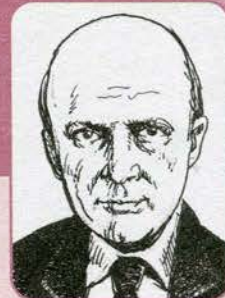
- никогда не наблюдалось в условиях Земли зарождение живого от неживого;
- в геологической истории нет эпох, в которые отсутствовала бы жизнь;
- в современную эпоху живое вещество так же влияет на химический состав земной коры, как и в прошлые эпохи;
- энергия живого вещества есть преобразованная энергия Солнца.

**РАЗВИТИЕ ИДЕЙ ВЕРНАДСКОГО** Значительный вклад в развитие идей В.И. Вернадского вносят работы современного известного микробиолога Г.А. Заварзина. По его мнению, данные о времени обнаружения древнейших сообществ прокариот (более 3,5 млрд лет) вытесняют возникновение жизни из земных пределов в космос. К такому заключению он приходит под влиянием работ палеонтологов об усиленной метеоритной бомбардировке Земли на заключительной стадии её формирования как планеты. Время массового падения метеоритов совпадает с возрастом древнейших сообществ микроорганизмов. Средой, способной сохранить их споры, могли быть ледяные ядра комет. Предположения такого рода, вплоть до направленной панспермии (преднамеренного переноса микроорганизмов различными космическими объектами), всё же имеют меньше противоречий, чем гипотезы её самозарождения в результате абиогенеза.



Диалог био- и абиогенеза не позволил пока прийти к единому мнению о возникновении жизни на Земле, однако он дал возможность понять, что планетарная жизнь — абсолютная ценность, её возникновению способствовали уникальные условия на Земле и в космосе, которые вряд ли могут повториться вновь.

Одно из представлений вечности жизни во Вселенной — гипотеза панспермии, распространения по Вселенной «семян жизни». Немецкий химик Юстус Либих (1803–1873) предполагал, что жизнь существует вечно и переносится с планеты на планету метеоритами. Активно развивал гипотезу панспермии шведский химик Сванте Аррениус (1859–1927). В результатах опытов русского физика Петра Николаевича Лебедева он увидел доказательства возможности переноса спор микроорганизмов с планеты на планету с помощью солнечного света.



**Заварзин**  
Георгий Александрович  
р. 1933

Российский микробиолог. Автор работ по физиологии литотрофных микроорганизмов, экологии и систематике бактерий.

### ВОПРОСЫ:

- Какой вклад в утверждение идеи биогенеза внёс опыт Ф. Реди?
- Каковы основные положения биогенеза, сформулированные В.И. Вернадским?
- Находят ли идеи В.И. Вернадского об экосистемности, вечности и космичности жизни дальнейшее развитие?

## 48

**ВЫ УЗНАЕТЕ:**

● О развитии жизни на ранних этапах её эволюции.

**ВСПОМНИТЕ:**

- Чем прокариоты отличаются от эукариот?
- В чём различия биологического прогресса и биологического регресса?

Названия периодов отражают либо географический район, где впервые были изучены отложения данного времени (например, Пермь, Юра — от названия города Пермь, Юра — от горной гряды Юра во Франции), либо преобладание отложений определённого типа (карбон характеризовался образованием каменного угля, мел — массовым образованием слоёв мела).

**5.3. Геохронологическая шкала**

ПЕРИОД  
(млн лет)

ЭРА  
ЭОН



## РАЗВИТИЕ ЖИЗНИ НА ЗЕМЛЕ. КРИПТОЗОЙ. РАННИЙ ПАЛЕОЗОЙ

Историю Земли и жизни на ней разбивают на отдельные промежутки времени, имеющие разную продолжительность. Границами между ними служат исторические события планетарного масштаба, такие, как, например, появление живых организмов с внешним скелетом или вымирание динозавров.

**АРХЕЙ — ДРЕВНЕЙШАЯ ЖИЗНЬ** Архей — время господства прокариот. Древнейшие автотрофы — цианобактерии обладали аппаратом фотосинтеза, что привело к возникновению первичного озонового экрана в верхних слоях атмосферы.


В Южной Австралии австралийскому геологу Реджинальду Сприггу (1947) в пластах возрастом 620–600 млн лет удалось обнаружить отпечатки животных, представителей трёх типов: Кишечнополостные, Круглые и Кольчатые черви. Древнейшие животные не имели развитого наружного или внутреннего скелета. Это объясняет их крайне редкое нахождение в докембрийских породах.

Это открыло необъятные горизонты для расцвета жизни. Горные породы архея содержат большое количество графита. Считается, что графит происходит из остатков органических соединений, входивших в состав первых прокариот. Палеонтологическая летопись начинается с древнейших осадочных пород — строматолитов.

**ПРОТЕРОЗОЙ — ПЕРВИЧНАЯ ЖИЗНЬ** Предполагают, что эукариоты появились 1,8–2,0 млрд лет назад, и уже около 1,35 млрд лет назад господство прокариот сменяется расцветом сначала одноклеточных, а затем и многоклеточных эукариот.


Около 650 млн лет назад моря уже населяли разнообразные многоклеточные животные: полипы и медузы (1), плоские черви, предки современных кольчатых червей, членистоногих, моллюсков, иглокожих, хордовых — бесчерепные. Растения были представлены разнообразными водорослями.

**РАННИЙ ПАЛЕОЗОЙ — РАСЦВЕТ БЕСПОЗВОНОЧНЫХ. ВЫХОД РАСТЕНИЙ НА СУШУ** В начале палеозоя облик морской фауны определяют беспозвоночные с наружным скелетом (2). Наиболее широкого распространения достигли древнейшие членистоногие — трилобиты (3), внешне сходные с современными ракообразными — мокрицами. Позднее появились первые головоногие моллюски (4), родственники современных осьминогов и кальмаров, распространились брюхоногие моллюски.

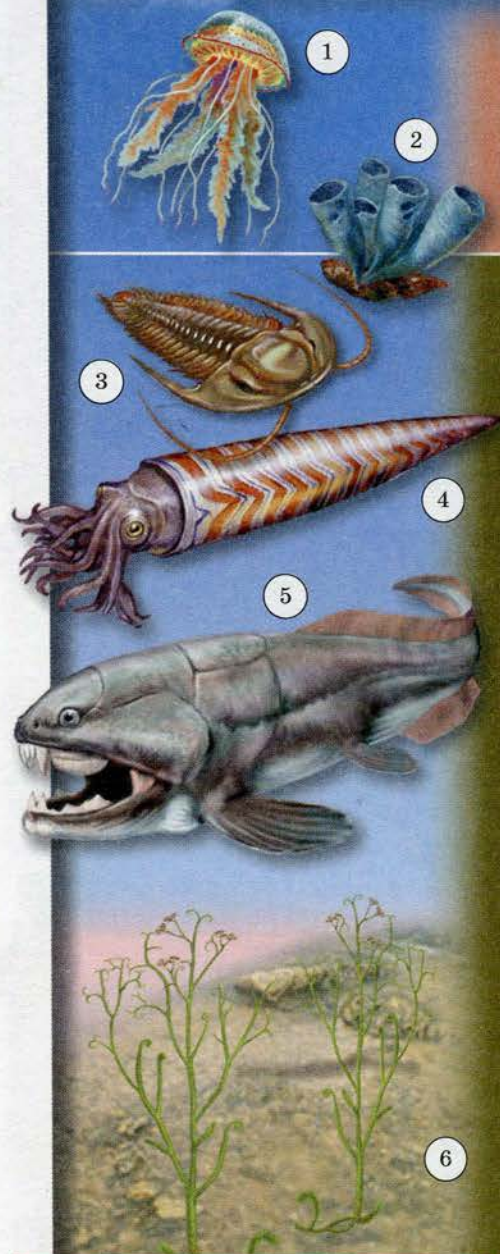


Примечательным событием середины палеозоя было появление и распространение первых представителей позвоночных животных — панцирных рыб (5). Внутренний скелет этих рыб был хрящевым, а снаружи тело покрывал костный панцирь, состоящий из щитков. Панцирные рыбы по форме напоминали настоящих рыб, но принадлежали к другому классу позвоночных — Круглоротые. Потомки панцирных рыб стали предками представителей настоящих рыб.

Одними из первых наземных растений были псилофиты (6), ведущие свою родословную от зелёных водорослей. Строение псилофитов ещё напоминало строение их предков. Они были лишены настоящих листьев и достигали в высоту около 25 см. Отдельные нитевидные отростки служили псилофитам для прикрепления к почве и поглощения из неё воды и минеральных веществ. Наряду с образованием подобия корней, стебля и примитивной проводящей системы у псилофитов развилась покровная ткань, предохраняющая их от высыхания. Первыми сухопутными животными были паукообразные, близкие по строению современным скорпионам.



Выходу растений и животных на сушу способствовало появление озонового экрана и увеличение содержания кислорода в атмосфере.



### ВОПРОСЫ:

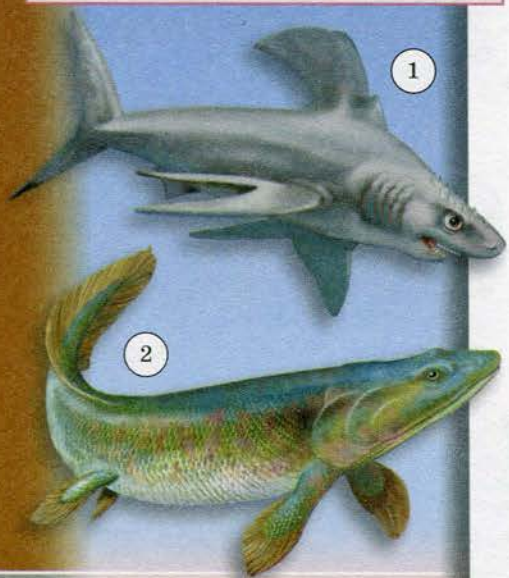
- В чём проявлялось разнообразие жизни на Земле в архее и протерозое?
- Какие ароморфозы и идиоадаптации способствовали выходу растений на сушу?
- Какое значение для исторического развития животного мира имело появление первых позвоночных?

**ВЫ УЗНАЕТЕ:**

- О роли в эволюции кистепёрых рыб.
- О древнейших земноводных.

**ВСПОМНИТЕ:**

- Каковы общие черты строения хрящевых и костных рыб?
- В чём особенность строения древних кистепёрых рыб?
- Как происходит развитие папоротниковидных и голосеменных растений?

**РАЗВИТИЕ ЖИЗНИ  
В ПОЗДНЕМ ПАЛЕОЗОЕ**

**В**о второй половине палеозоя сокращаются площади морей, поэтому продолжается завоевание суши растениями и животными. От псилофитов отделяются типичные споровые — папоротники, хвощи, плауны. В ходе эволюции животных от древних кистепёрых рыб произошли первые земноводные.

**БИОЛОГИЧЕСКИЙ ПРОГРЕСС НАДКЛАССА РЫБЫ** В морях девонского периода уже обитали настоящие рыбы. Среди них были распространены хрящевые (1) — предковые формы современных акул, скатов. Появились и первые представители рыб, имевших костный скелет, среди которых расцвета достигли кистепёрые (2).



У кистепёрых рыб были короткие мясистые плавники — два грудных и два брюшных, при помощи которых они не только плавали, но и могли передвигаться по высыхающим озёрам в поисках воды. В данных условиях они приобрели способность дышать атмосферным воздухом. Для дыхания им служил плавательный пузырь, стенки которого были пронизаны кровеносными сосудами. Постепенно плавники становились более удобными для ползания и превратились в пятипалые конечности, а плавательный пузырь усложнялся и видоизменился в лёгкие.

**РАСЦВЕТ ПАПОРОТНИКООБРАЗНЫХ** В карбоне происходит потепление и увлажнение климата. На огромных пространствах заболоченных долин в условиях непрерывного влажного лета появились первые леса, в которых произрастали громадные папоротники (3), хвощи и плауны (4). Со временем на месте древних тропических лесов образовались залежи каменного угля.

Завоевание суши папоротникообразными не было достаточно полным, так как их процесс размножения связан с водой. Поэтому эволюционную эстафету подхватили голосеменные растения, а споровые остались боковой ветвью эволюции. Несколько видов древовидных папоротников сохранились до наших дней в тропиках.

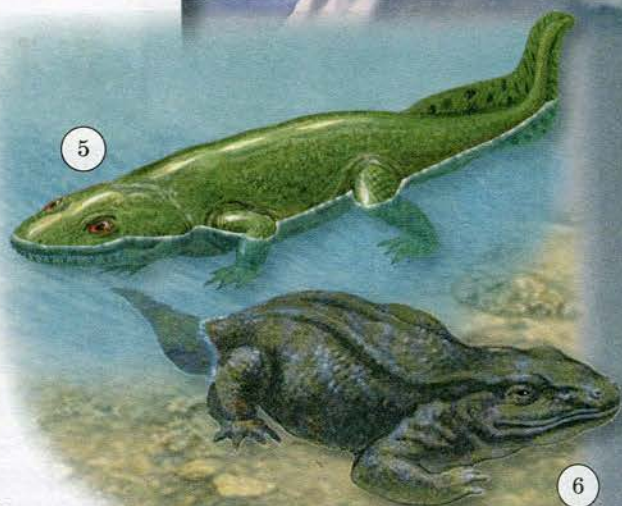
**ЗАВОЕВАНИЕ СУШИ ЖИВОТНЫМИ** Выход позвоночных на сушу произошёл в позднедевонскую эпоху. В это время воздух был уже освоен насекомыми, а по суше стали распространяться потомки кистепёрых рыб, которые уже могли на некоторое время удаляться от воды, что привело к появлению позвоночных с новым образом жизни — земноводных. Наиболее древние их представители — **ихтиостеги** (5), останки которых обнаружены в девонских осадочных породах в Гренландии. Короткие пятипалые лапы ихтиостег походили скорее на ласты. Наличие хвостового плавника и тела, покрытого чешуёй, свидетельствует о водном образе жизни.

Расцвет древних амфибий приурочен к карбону. Именно в этот период широкое развитие получили разные группы **стегоцефалов** (6) (панцирно-головых). По форме их тела напоминали тритонов и саламандр. Размножение стегоцефалов, как и современных земноводных, тесно связано с водной средой, поэтому они, подобно первым наземным растениям, обитали лишь в прибрежной части суши и не смогли завоевать внутриконтинентальные массивы, расположенные вдали от водоёмов.

**РАЗВИТИЕ ЖИЗНИ В КОНЦЕ ПАЛЕОЗОЯ** В перми климат стал более засушливым и холодным, что отразилось на видовой структуре древних лесов. Гигантские древовидные папоротники постепенно исчезли. Им на смену пришли голосеменные растения, представленные саговниками, гинкговыми, хвойными. Хвойные деревья оказались прекрасно приспособленными к холодным условиям и в наше время составляют основу таёжного пояса планеты.

Продолжающееся иссушение климата оказало существенное влияние и на эволюцию животных: исчезают стегоцефалы, развиваются появившиеся ещё в конце карбона древнейшие пресмыкающиеся.

Существенная особенность морей карбона и перми — развитие простейших, имеющих раковины. Их огромные скопления впоследствии привели к образованию мощных пластов известняка, часть которого, испытывая воздействие эндогенных процессов, происходящих в земной коре, превращалась в мрамор.



Стегоцефалы вымётывали икру в воду, где происходило её оплодотворение. Из икры развивались личинки, имевшие жаберное дыхание. Из-за этого как древние, так и современные земноводные навсегда остались связанными со своей колыбелью — водой.

С позднего палеозоя до нашего времени сохранились из голосеменных гинкго двулопастный (Юго-Восточный Китай), секвойи, болотный кипарис (Северная Америка).

### ВОПРОСЫ:

- Какое место в эволюции позвоночных животных занимают кистепёрые рыбы?
- Почему папоротниковидные достигли биологического прогресса в карбоне и встали на путь регресса в перми?
- Почему древнейшие земноводные не смогли распространиться на территории, удалённой от водоёмов?

**ВЫ УЗНАЕТЕ:**

● Почему пресмыкающиеся и голосеменные в мезозойской эре процветали, а в кайнозое встали на путь биологического регресса.

**ВСПОМНИТЕ:**

● Каковы характерные черты пресмыкающихся, млекопитающих животных, голосеменных и покрытосеменных растений?

**РАЗВИТИЕ ЖИЗНИ В МЕЗОЗОЕ И КАЙНОЗОЕ**

**М**езозой — эра пресмыкающихся и голосеменных. Кайнозой — время биологического прогресса цветковых растений, птиц, млекопитающих, насекомых.

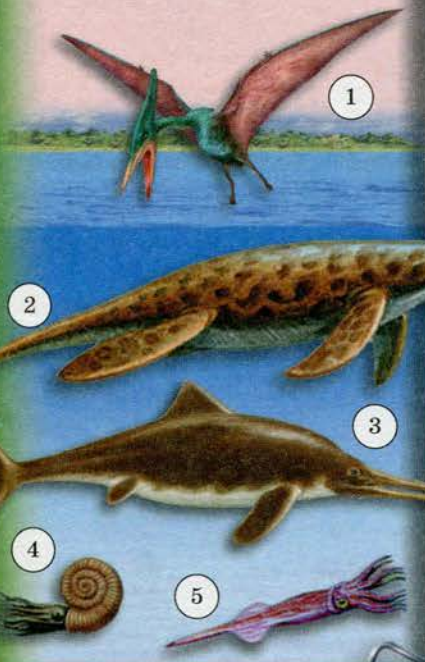
**РАСЦВЕТ ПРЕСМЫКАЮЩИХСЯ** В первом периоде мезозоя — триасе по пути биологического прогресса развиваются пресмыкающиеся. В связи с приспособлением к жизни в наземно-воздушной среде у пресмыкающихся возникает несколько крупных ароморфозов: более совершенное строение конечностей и мускулатуры, лёгких, сердца, головного мозга. Обособление шейного отдела позвоночника позволило им свободно двигать головой и быстро реагировать на внешние события. Оплодотворение у пресмыкающихся внутреннее. Яйца имеют специальную прослойку из жидкости, защищающей зародыш.



Наиболее многочисленными и разнообразными среди пресмыкающихся были динозавры. Птерозавры (1) освоили наземно-воздушную среду. Некоторые приспособились к жизни в водной среде. Среди водных форм наиболее известны плезиозавры (2), имевшие широкое туловище и змеевидную шею, и ихтиозавры (3) (по строению тела они напоминали акул и дельфинов).

В морях мезозоя достигают расцвета головоногие моллюски — аммониты (4) и белемниты (5).

**РАСПРОСТРАНЕНИЕ ПОКРЫТОСЕМЕННЫХ** В конце мезозоя появились покрытосеменные. Естественный отбор дал этим растениям значительные преимущества над голосеменными: появление цветка, двойное оплодотворение и развитие сосудистой системы, защита семени околоплодником. Эти ароморфные изменения обеспечили цветковым растениям биологический прогресс в кайнозойскую эру. Они широко заселили Землю и характеризуются большим разнообразием. Из древних покрытосеменных сохранились до наших дней такие деревья, как магнолия, хлебное дерево, фикус, эвкалипты. Уже позже появились дуб, орех, клён, тополь.



**В** настоящее время известно более 600 видов вымерших только динозавров. От поразительно разнообразного в прошлом класса Пресмыкающиеся до наших дней сохранилось около 6000 видов.





В кайнозой на развитие растительности огромное влияние оказали оледенения. Ледяной покров несколько раз сковывал северные районы Евразии и Северной Америки. Леса сохранились в Северной Америке, отступив на юг. На территории Евразии путь им преградили горные системы. Поэтому здесь не встречаются некоторые древесные виды, характерные для Северной Америки. Это кария, амбровое (6) и тюльпановое (7) деревья, многие хвойные — тсуга, туя, секвойя.

**ГОСПОДСТВО МЛЕКОПИТАЮЩИХ** Первые плацентарные млекопитающие появились ещё в середине мела, однако долгое время (примерно 150 млн лет) до палеогена они находились как бы в тени гигантских ящеров. Благодаря приспособлениям к различным условиям наземно-воздушной, водной и почвенной сред жизни они вытеснили мезозойских пресмыкающихся.

Из-за непостоянной температуры тела, откладки яиц пресмыкающиеся находились в большой зависимости от колебаний условий среды. Млекопитающие, обладая такими чертами, как теплокровность, вынашивание детёнышей в теле матери, живорождение, проявление заботы о потомстве, стали менее зависимы от изменений среды, получили преимущество перед пресмыкающимися. В неогене возникли все современные отряды млекопитающих, распространились гоминоиды — предки человека и человекообразных обезьян.

<http://kurokam.ru>

#### РАСПРОСТРАНЕНИЕ СТЕПЕЙ. ВОЗНИКНОВЕНИЕ ЧЕЛОВЕКА

С конца палеогена климат постепенно становится всё более сухим. Огромные территории, занятые тропическими лесами, сменились открытыми ландшафтами. В связи с этим одни из гоминоидов отступали в глубь лесов. У других (гоминид) появились приспособления к жизни на открытых пространствах. У них формировались прямохождение, дневной и общественный образ жизни. Гоминидная линия эволюции привела к Человеку разумному. Весь четвертичный период в Старом Свете проходил при участии и значительном влиянии человека. Это в основном определило тот видовой состав органического мира, который существует в настоящее время, повлияло на современное географическое распространение видов, создало современные биогеоценозы.

<http://kurokam.ru>



В течение четвертичного периода встали на путь биологического регресса и многие древние млекопитающие: мастодонты, мамонты, гигантский ленивец (8), саблезубый тигр (9) и др. На процесс вымирания крупных млекопитающих повлияли также древние люди.

#### ВОПРОСЫ:

- В чём заключаются прогрессивные черты пресмыкающихся по сравнению с земноводными?
- Какие ароморфозы обеспечили преимущество покрытосеменным перед голосеменными?
- Какие ароморфозы способствовали биологическому прогрессу млекопитающих в кайнозойскую эру?
- Какие условия обитания повлияли на вымирание древних млекопитающих в четвертичном периоде?



**ВЫ УЗНАЕТЕ:**

● О разных периодах исторической связи человека и природы.

**ВСПОМНИТЕ:**

- Каковы этапы эволюции человека?
- Как происходит круговорот веществ в природе?
- Почему многие экосистемы длительно и устойчиво существуют?



5.4. Периоды взаимодействия человека и природы

Археологические исследования показывают, что загонно-облавная охота первобытного человека стала одной из причин уничтожения отдельных видов животных, в основном крупных млекопитающих — мамонтов, шерстистых носорогов, гигантских оленей.

## ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ОБЩЕСТВА И ПРИРОДЫ

**В** истории взаимодействия человеческого общества и природы можно выделить ряд периодов. Каждый период характеризуется определённым отношением человека к природе, темпами и особенностями её освоения.

**БИОГЕННЫЙ ПЕРИОД** Для биогенного периода характерно обожествление природы человеком. Он, как и другие биологические виды, был органичной частью биосферы. Основу его жизнедеятельности составляли собирательство и охота. Однако уже в начале своей истории человек стал причиной исчезновения крупных млекопитающих. Это привело к первому экологическому кризису: человечество истребило основу своего пищевого рациона, его численность резко сократилась. Единственное, что могло спасти человека от полного исчезновения, — это изменение образа жизни.

**АГРАРНЫЙ ПЕРИОД** Эволюция человека не прервалась потому, что он перешёл к земледелию и животноводству. **Неолитическая революция**, связанная с возделыванием культурных растений и одомашниванием животных, позволила человеку не только преодолеть экологический кризис, но и выделиться из остальной части природы. Если в палеолите человек вписывался в естественный круговорот веществ, то, освоив земледелие и животноводство, он стал активно вмешиваться в него. Поэтому данный период в истории взаимодействия общества и природы называют **аграрным**. С аграрного периода человек активно преобразует биосферу, использует её ресурсы для достижения своих целей.

Для расширения земледельческих угодий наши предки использовали подсечно-огневой метод. Почвы быстро истощались, и тогда сжигались новые леса. Бурная деятельность человека — распашка земель, раскорчёвка и сжигание лесов, стравливание пастбищ и вытаптывание травостоев домашними животными, прямое истребление — привела не только к сокращению ареалов или вымиранию многих животных, но и к изменению и разрушению целых сообществ: леса сменялись саваннами, степи и саванны — пустынями, площади пустынь увеличивались.



Опустынивание территорий в неолите стало причиной второго экологического кризиса. Из него человечество вышло двумя путями: продвижением на север, где по мере таяния ледников освобождались новые территории, и переходом к поливному земледелию в долинах великих южных рек — Нила, Тигра и Евфрата, Инда и Ганга, Янцзы и Хуанхэ. Именно там возникли древнейшие цивилизации.

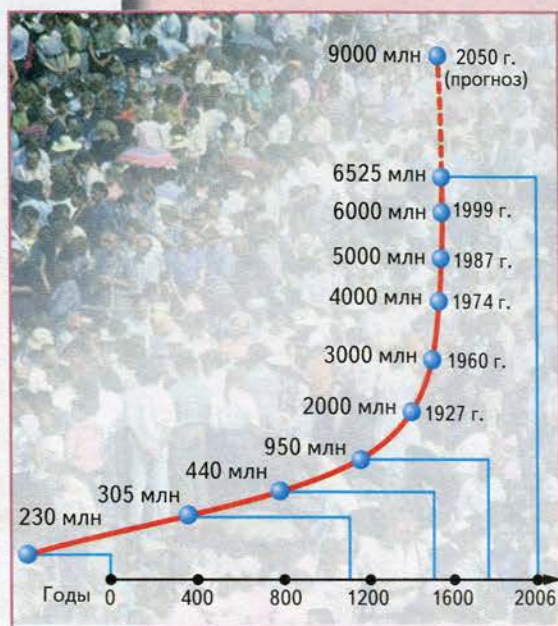


Конец аграрного периода характеризуется эпохой Великих географических открытий. Освоение новых земель, проникновение европейцев в Америку, Африку, Индию, Китай, Центральную Азию изменили мир, привели к новому наступлению человека на природу.

**ИНДУСТРИАЛЬНЫЙ ПЕРИОД** В начале индустриального периода природные экосистемы справлялись с антропогенными воздействиями. К середине XX в. в результате увеличения численности человечества, темпов и масштабов его производственной деятельности возможности самовосстановления экосистем были исчерпаны. Дальнейшее развитие производства стало затруднительным из-за истощения невозобновимых природных ресурсов.

Экологические кризисы приобрели планетарные масштабы, так как деятельность человека изменяла биогеохимические циклы элементов. Перед человечеством возник ряд глобальных экологических проблем: угроза вымирания 2/3 видов в связи с разрушением мест обитания; сокращение площади лесов; загрязнение атмосферы и гидросферы отходами производства.

**ПОСТИНДУСТРИАЛЬНЫЙ ПЕРИОД** Численность человечества и его давление на природу продолжают расти. Человек по-прежнему сокращает биоразнообразие, загрязняет атмосферу, воду, почву. Однако в настоящее время наметился переход от индустриального к **информационно-экологическому**, или **постиндустриальному**, периоду. Он характеризуется становлением экологического мышления, осознанием ограниченности возможностей биосферы в восстановлении экосистем. Стало очевидным, что экологически грамотное и рациональное природопользование — единственно возможный путь выживания человечества.



5.5. Рост численности человечества

### ВОПРОСЫ:

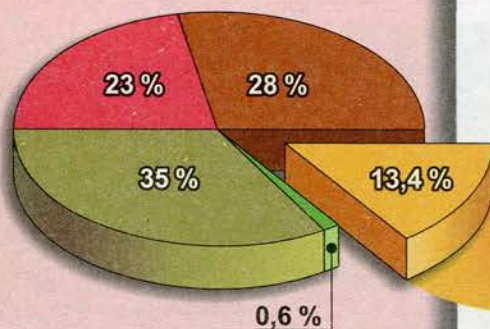
- Каковы причины и последствия первых экологических кризисов в истории человечества?
- В чём различия биогенного и аграрного периодов?
- Почему экологический кризис в индустриальный период стал носить глобальный характер?
- Что нового во взаимоотношения общества и природы вносит постиндустриальный период?

**ВЫ УЗНАЕТЕ:**

● К каким последствиям в биосфере приводит деятельность человека.

**ВСПОМНИТЕ:**

- Что понимают под экологическими факторами?
- Какой фактор называют антропогенным?



- Сельское и лесное хозяйство
- Обработывающая промышленность
- Электроэнергетика
- Добыча полезных ископаемых
- Транспорт

**5.6.** Доля отраслей промышленности и транспорта в загрязнении атмосферы в России (% , 2008)

За последние столетия произошло повышение средней температуры поверхности Земли примерно на 0,5 °С. По прогнозам, к середине нашего столетия она поднимется ещё на 1,5–4,5 °С. Результат этого — таяние полярных льдов, что резко повысит уровень Мирового океана. Так, к 2050 г. возможное его повышение составит 150 см. Окажутся затопленными многие густонаселённые прибрежные зоны.

## ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ СОВРЕМЕННОГО ЧЕЛОВЕКА КАК ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ ФАКТОР

**В** последние десятилетия деятельность человека привела к противоречию между потребностями общества и возможностями природы обеспечить людей необходимыми ресурсами. В результате истощения окружающей среды возникли серьёзные экологические проблемы.

**ЗАГРЯЗНЕНИЕ АТМОСФЕРЫ** Основные источники загрязнения атмосферы — **выбросы** газообразных отходов производства промышленными предприятиями и транспортом.

**Транспорт:**

- железнодородный
- морской
- речной
- воздушный
- автомобильный

Особенно опасны выхлопные газы автомобилей, так как наибольшей концентрации они достигают в приземном слое атмосферы.

Содержание в выбросах значительной доли углекислого газа — одна из причин **парникового эффекта**, следствие которого — повышение средней температуры воздуха Земли.

<http://kurokam.ru>



Результат выбросов в атмосферу газообразных отходов в виде диоксида серы, оксидов азота — **кислотные осадки**, способствующие переводу нерастворимых соединений некоторых металлов, находящихся в почве, в растворимые. Эти соединения поглощаются растениями и в результате снижают их жизнеспособность, вызывают гибель. Кислотные осадки также негативно влияют на живые организмы, обитающие в пресных водоёмах.

**ЗАГРЯЗНЕНИЕ ВОД** Для питья, орошения, технологических нужд человеку необходима чистая вода. Чистота воды — результат биологической очистки. В настоящее время в Мировой океан ежегодно поступает несколько миллиардов тонн жидких и твёрдых отходов. Процессы биологической очистки нарушаются. В результате в живых организмах накапливаются токсичные химические соединения.

### 5.7. Основные районы рыболовства и загрязнения Мирового океана

**ПЕРЕРАБОТКА ОТХОДОВ** Сложная проблема современности — складирование и переработка отходов промышленности и бытового мусора. Таких отходов ежегодно накапливаются тысячи тонн. Свалки служат дополнительным источником загрязнения окружающей среды. При сжигании мусора, содержащего пластмассы, синтетические материалы, образуется много ядовитых соединений. Для некоторых промышленных отходов устраиваются специальные хранилища. Количество и разнообразие отходов растут с каждым годом, а проблема их безопасного хранения и переработки пока не решена.

**НАРУШЕНИЕ И ЗАГРЯЗНЕНИЕ ПОЧВ** Одна из глобальных проблем человечества — нарушение земельных ресурсов в результате нерационального их использования. Так, неправильной пахотой вдоль, а не поперёк склона за один сезон можно нарушить слой почвы, на образование которого ушли сотни, а иногда и тысячи лет. Неумелое применение удобрений, ядохимикатов влечёт за собой гибель почвенной биоты.

### 5.8. Земельные и лесные ресурсы России (тыс. га)

**СОКРАЩЕНИЕ БИОРАЗНООБРАЗИЯ** По мере сокращения площадей, занятых естественными экосистемами, исчезают благоприятные условия для обитания многих видов растений и животных. За последние столетия только в России исчезли 29 видов земноводных, 70 видов птиц, 65 видов млекопитающих. В Красную книгу России занесены 553 вида растений.

В атлантической треске иногда содержится до 800 мг ртути на 1 кг массы. При исследовании погибших тюленей обнаруживают до 150 отравляющих веществ.



### ВОПРОСЫ:

- В чём опасность загрязнения атмосферы и биосферы?
- Каковы последствия накопления бытовых и промышленных отходов?
- Почему важно заботиться о сохранении почвы и биоразнообразия?

**ВЫ УЗНАЕТЕ:**

● О стратегии устойчивого развития.

**ВСПОМНИТЕ:**

● В чём заключается суть учения о биосфере и её экосистемном строении?

В трудах отечественных философов Владимира Сергеевича Соловьёва, Павла Александровича Флоренского «русская идея» рассматривается как оздоровление, совершенствование всего живого благодаря духовным усилиям людей. Последователями русского космизма были учёные и философы Николай Фёдорович Фёдоров, Николай Алексеевич Умов, Александр Леонидович Чижевский, Константин Эдуардович Циолковский.

Прослушав в Сорбонне курс лекций В.И. Вернадского, французский философ Эдуард Леруа предложил термин «ноосфера» (греч. *noos* — разум и *sphera* — шар) со ссылкой на то, что он вводит это понятие для будущего состояния биосферы (1927).

**КОЭВОЛЮЦИЯ ПРИРОДЫ И ОБЩЕСТВА**

Вернадский, занимаясь изучением эволюции биосферы и роли живого вещества в преобразовании геологических оболочек Земли, не мог не заметить возрастающего вмешательства человека в биосферные процессы. В самом начале XX в. учёный формулирует идею о человечестве как мощной геологической силе, а в последние годы своей жизни создаёт учение о ноосфере.

**ИСТОКИ ПРЕДСТАВЛЕНИЙ О КОЭВОЛЮЦИИ ПРИРОДЫ И ЧЕЛОВЕЧЕСТВА**

Истоки идей о гармоничном взаимном развитии природы и общества — их **коэволюции** — лежат в русской народной культуре, построенной на идее единства, всеобщей связи человека и природы. Человек мыслился как неотъемлемая часть природы, отражение гармонии и закономерностей космоса. Из этих мифопоэтических истоков на рубеже XIX–XX вв. в отечественной философии созревает «русская идея» — идея всеединства, вселенскости, соборности. На этой духовной основе родился и развивался русский космизм, подготовивший почву для создания В.И. Вернадским учения о биосфере и её эволюции в ноосферу, а затем и современных концепций о соединении человека с природой.

**УЧЕНИЕ ВЕРНАДСКОГО О НООСФЕРЕ**

Для В.И. Вернадского ноосфера — это качественно новое состояние в эволюции биосферы, когда человечество берёт на себя ответственность за дальнейшее её развитие.



Биосфера может существовать без человека, а человек вне достаточно узкого диапазона параметров биосферы существовать не может. Поэтому для обеспечения своего дальнейшего развития человечеству предстоит научиться соизмерять свои потребности с возможностями биосферы.

Согласно В.И. Вернадскому переход биосферы в ноосферу будет происходить постепенно и означать вступление в эпоху направляемого развития. Для этого необходимо развитие науки, исключение войн, высокое качество жизни людей, открытие новых источников энергии.



Для интерпретации термина «ноосфера» современные учёные вводят понятие коэволюции человека и биосферы. Его смысл: развитие человечества должно быть согласовано с развитием биосферы. Реализация принципа коэволюции означает принятие системы запретов, исключающих возможность приближения состояния биосферы к критическому.

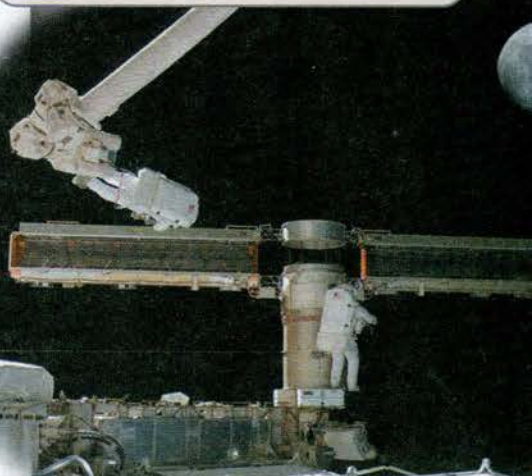
### ПОИСКИ ОПТИМАЛЬНЫХ ПУТЕЙ РАЗВИТИЯ ПРИРОДЫ И ОБЩЕСТВА

В настоящее время человечество переживает решающий момент своей истории. Последствия его деятельности переросли региональные границы и приобрели глобальный характер. Сложившаяся экологическая ситуация послужила основой для выдвижения идей и концепций общественного развития. Наибольшую поддержку получила **концепция устойчивого развития**. Речь в ней идёт о стратегии, основанной на гармонизации социально-экономического и экологического развития, учитывающей интересы и потребности не только нынешних, но и будущих поколений людей.

Концепция устойчивого развития касается перестройки сфер жизни общества:

- отказ от старых форм эксплуатации природы и переход на новые технологии и виды энергии, позволяющие предотвратить загрязнение биосферы, сократить потребление невозобновляемых природных ресурсов;
- повышение урожайности на основе севооборотов и рациональных приёмов обработки почвы;
- усиление роли государственного начала в управлении рыночной экономикой, пересмотр механизма ценообразования с учётом ущерба, наносимого следующему поколению;
- согласованная деятельность отдельных людей, коллективов и государств для обеспечения рационального использования природы и преодоления экологических катастроф;
- реализация принципа планирования семьи;
- сохранение биоразнообразия путём проведения научных исследований взаимодействия видов;
- расширение площадей заповедников;
- использование опыта бережного отношения к природе в культуре разных народов для перестройки сознания каждого человека.

В основе одного из подходов к развитию природы и общества лежит идея В.И. Вернадского об автотрофности человечества. Автотрофность предполагает, что жизнь человека определяется им же созданными условиями – искусственными биогеохимическими циклами. Это перспективно для обеспечения длительных космических полётов. Однако решить проблемы выживания человечества чисто технически принципиально невозможно. Существование человека в искусственной среде возможно только в фантастических произведениях.



Для России достижение устойчивого развития заключается в обеспечении прекращения снижения численности населения, повышении рождаемости.

### ВОПРОСЫ:

- Как связаны учения о биосфере и ноосфере?
- Что понимают под коэволюцией природы и общества?
- В чём сущность и значение стратегии устойчивого развития?

## ПОДВЕДЁМ ИТОГИ

- Жизнь следует понимать как явление, присущее биосфере в целом, а не отдельным видам, организмам или скоплениям молекул. Эволюционный процесс идёт только в живой природе, внутри биосферы, и приводит к преобразованию косного вещества Земли.
- В ходе эволюции органического мира от эры к эре возрастало биологическое разнообразие, повышался уровень организации живых форм, возрастали темпы эволюции. Эволюция видов способствовала эволюции биосферы, её качественному и количественному преобразованию. Прогрессивная направленность эволюционного процесса, возникновение новых, более высокоорганизованных форм жизни вызывали усложнение биологического круговорота, превращение его в результате завоевания жизнью суши в общепланетарный процесс.
- Человек и биосфера связаны исторически. В биогенный период своего развития человек естественно вписывался в природные процессы. Со времён неолитической революции хозяйственная деятельность человека привела к тому, что природные запасы стали активно использоваться, состав и соотношение веществ в биосфере изменились. Возникли крупные экологические проблемы: сокращение биоразнообразия, изменение климата, загрязнение экосистем, эрозия почв. В настоящее время человечество ещё не обладает достаточным объёмом знаний, чтобы прогнозировать результаты своей деятельности. Задача науки — глубже изучить механизмы происходящих в природе процессов и научиться их регулировать, не нанося ущерба биосфере.

### ВОПРОСЫ ДЛЯ ОБСУЖДЕНИЯ:

- Возможно ли самозарождение жизни на Земле на современном этапе её развития?
- Известный французский палеонтолог Жорж Кювье в начале XIX в. предложил теорию катастроф для объяснения гибели ископаемых животных, согласно которой каждый геологический период имел свой животный мир, обособленный от предшествующего и последующего. Всё живое в конце каждого периода уничтожалось в результате какой-либо катастрофы, а затем возникало заново. Согласны ли вы с теорией катастроф? Ответ обоснуйте.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

### Дорогие выпускники!

Мы надеемся, что содержание заключительного раздела биологии, как и всех предшествующих, поможет вам эффективно действовать за пределами ситуаций и сюжетов, изучаемых в школе. Уверены, что использование учебника и электронного приложения к нему, тетради-тренажёра, тетради-практикума, тетради-экзаменатора способствует овладению предметными компетенциями в области генетики, экологии, систематики, эволюционного учения, а в целом – формированию информационной и коммуникативной компетентностей, ценностного отношения к своему здоровью и здоровью окружающих людей, сохранению биологического разнообразия.

Надеемся также, что учебная информация о происхождении и развитии жизни на Земле, антропогенезе, биосфере и ноосфере, коэволюции природы и общества, её построение в форме диалога дадут вам возможность понять смысл и назначение человека на Земле, его историческую связь с природой, а также позволят решать проблемы жизненного самоопределения, выбора стиля и образа жизни на основе нравственных принципов.

Содержание учебников биологии линии «Сферы» соответствует требованиям к результатам обучения, предъявляемым на итоговой аттестации, следовательно, обеспечивает успешную сдачу Единого государственного экзамена.

Удачи!





Учебное издание

Серия «Академический школьный учебник»

Серия «Сферы»

Сухорукова Людмила Николаевна  
Кучменко Валерия Семёновна  
Иванова Татьяна Владимировна

# Биология

10–11 классы

Учебник для общеобразовательных учреждений

Руководитель Центра «Сферы» *О.Г. Котляр*  
Ответственный за выпуск *М.А. Ефремова*  
Ведущий редактор *А.В. Сильянова*  
Художественный редактор *А.П. Асеев*  
Художники *П.А. Жиличкин, А.В. Юдин, А.П. Асеев*  
Фотографии *А.П. Асеева, ООО «Ист Ньюс», ООО «Лори»,  
www.fotolia.com, «РИА Новости»*  
Компьютерная вёрстка *А.П. Асеева*  
Дизайн обложки *О.В. Поповича, В.А. Прокудина, А.П. Асеева*  
Технический редактор *Г.В. Субочева*  
Корректор *И.А. Григалашвили*

Налоговая льгота — Общероссийский классификатор продукции ОК 005-93—953000.  
Изд. лиц. Серия ИД № 05824 от 12.09.01. Подписано в печать 17.02.11.  
Формат 84×108 1/16. Бумага офсетная. Гарнитура SchoolBookCSanPin. Печать офсетная.  
Уч.-изд. л. 13,08. Тираж 15 000 экз. Заказ № 581.

Открытое акционерное общество «Издательство «Просвещение».  
127521, Москва, 3-й проезд Марьиной рощи, 41.

Отпечатано в полном соответствии с качеством предоставленных издательством материалов в  
ОАО «Тверской ордена Трудового Красного Знамени полиграфкомбинат детской литературы  
им. 50-летия СССР». 170040, г. Тверь, проспект 50 лет Октября, 46.



# А

Российская академия наук  
Российская академия образования  
Издательство «Просвещение»

Академический школьный учебник

С Ф Е Р Ы

ЛИНИЯ УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИХ  
КОМПЛЕКТОВ «СФЕРЫ»  
ПО БИОЛОГИИ  
ДЛЯ ОБЩЕОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ  
УЧРЕЖДЕНИЙ:

- Биология. Живой организм. 6 класс
- Биология. Разнообразие живых организмов. 7 класс
- Биология. Человек. Культура здоровья. 8 класс
- Биология. Живые системы и экосистемы. 9 класс
- Биология. 10–11 классы
- Биология. 10 класс. Профильный уровень
- Биология. 11 класс. Профильный уровень

УМК «Биология. 10–11 классы» включает:

- **Учебник**
- Электронное приложение к учебнику (DVD-ROM)
- Тетрадь-тренажёр
- Тетрадь-практикум
- Тетрадь-экзаменатор
- Методические рекомендации
- Рабочие программы

ISBN 978-5-09-019838-7



9 785090 198387

# БИОЛОГИЯ