

---

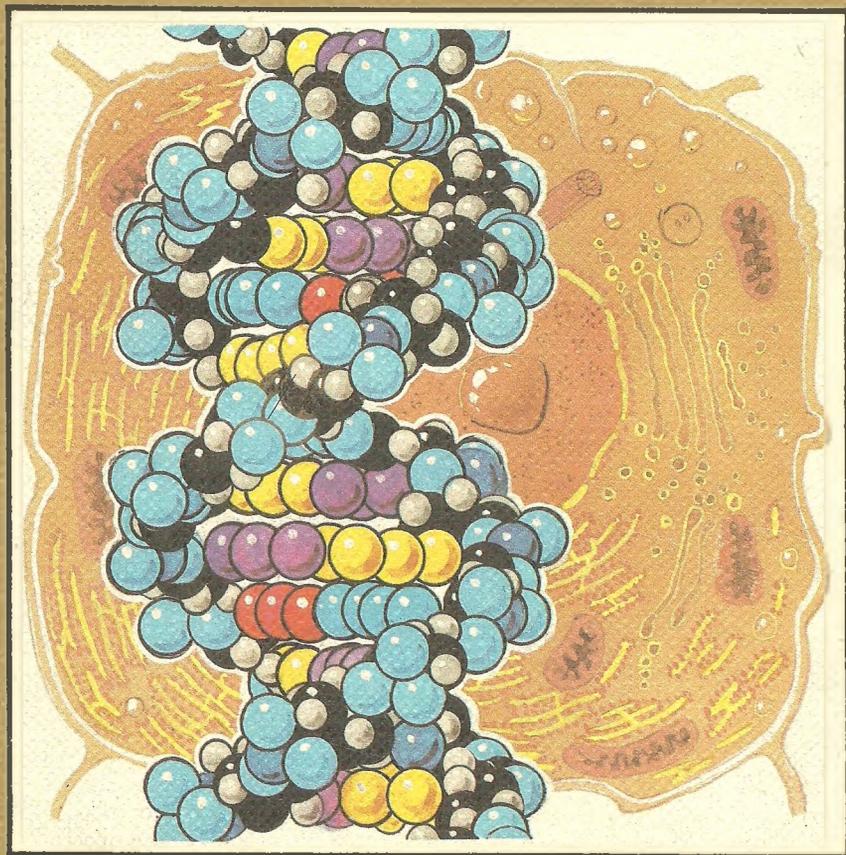
# ОБЩАЯ БИОЛОГИЯ

---



---

## 10-11



Плейстоцен + голоцен

Палеоцен

Эоцен

Олигоцен

Юра

Кембрий

Ордовик

Силур

Девон

Карбон

Триас

Пермь

Архей

Венд.

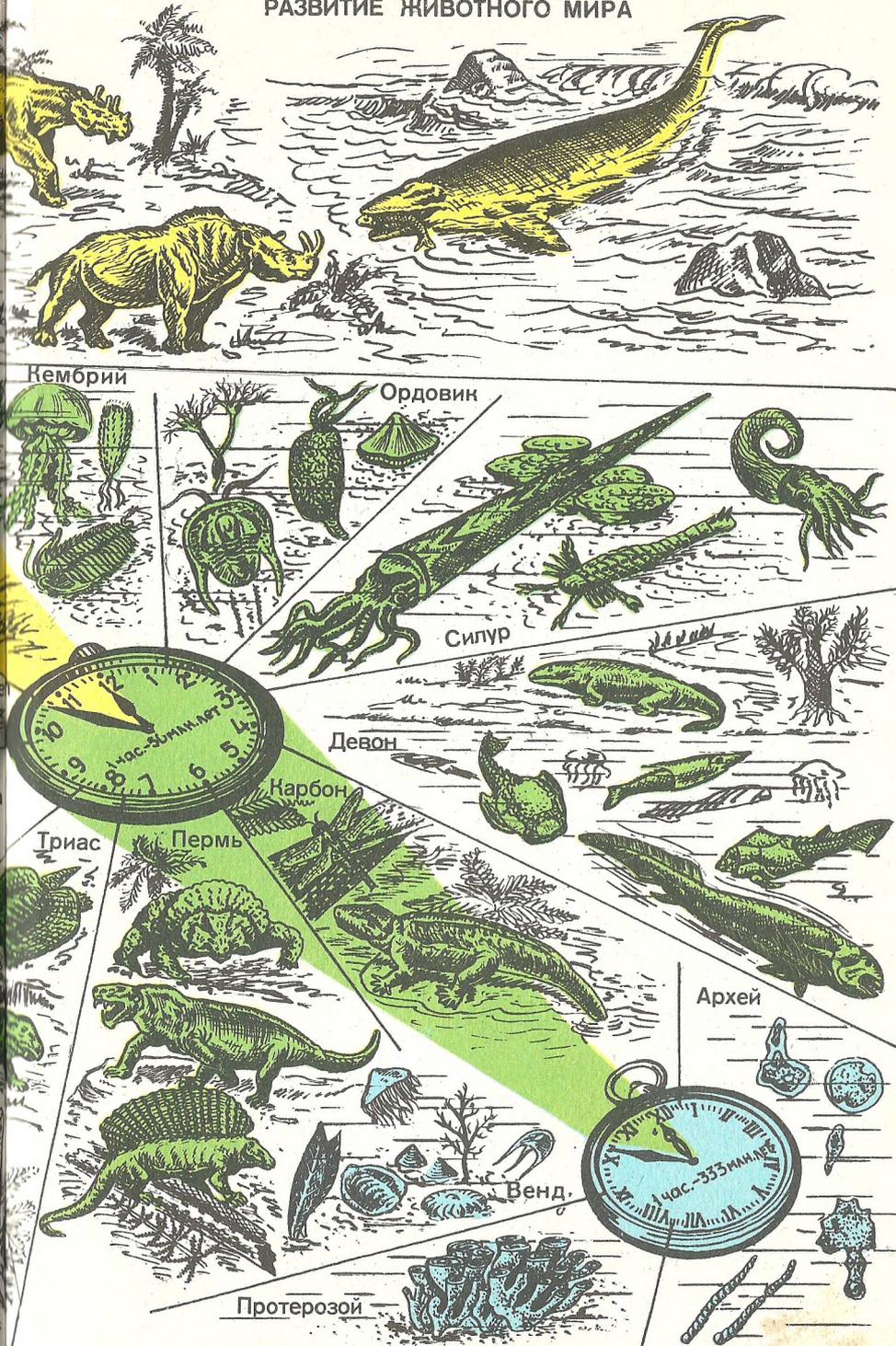
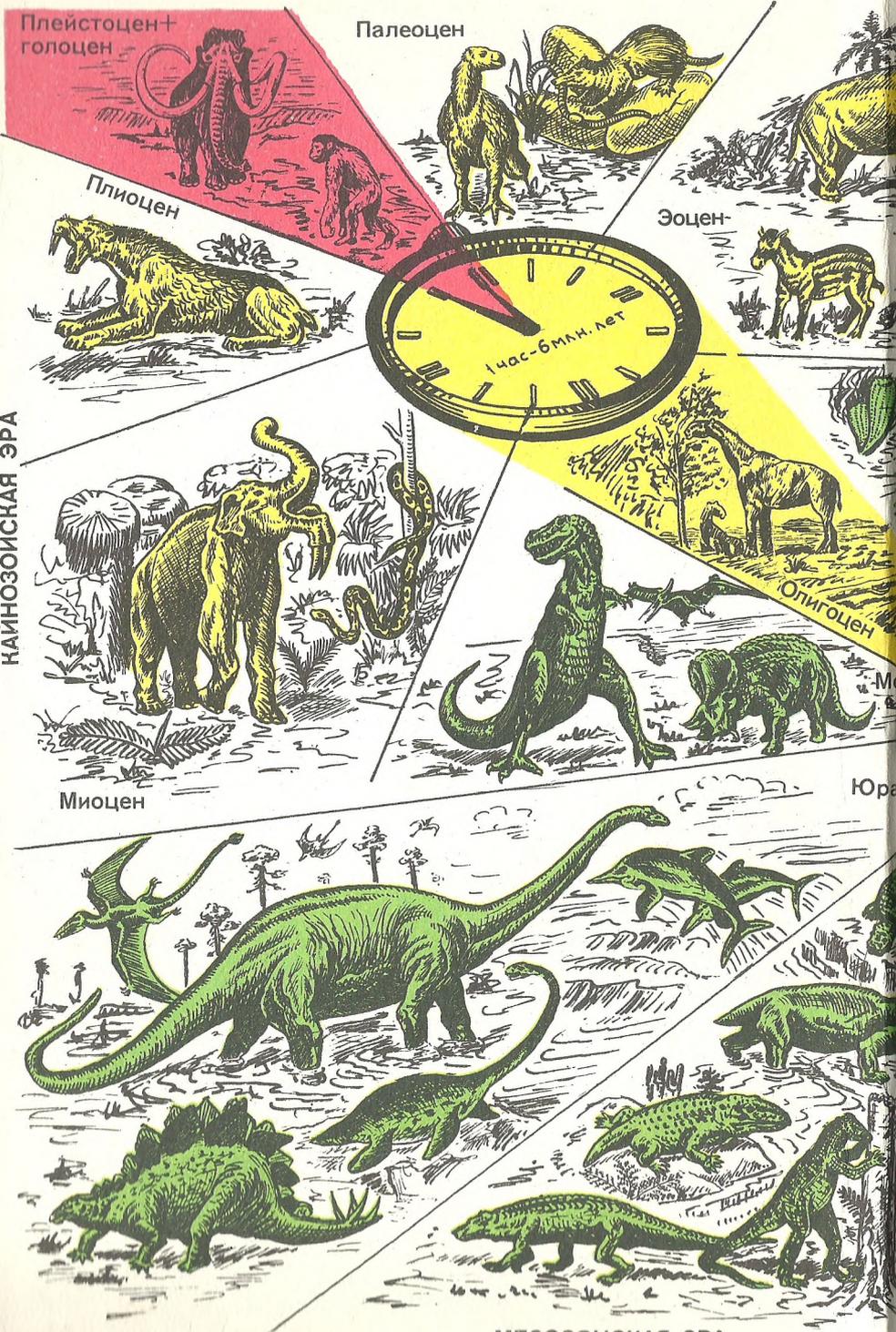
Протерозой

КАЙНОЗОЙСКАЯ ЭРА

ПАЛЕОЗОЙСКАЯ ЭРА

МЕЗОЗОЙСКАЯ ЭРА

АРХЕОЗОЙСКАЯ ЭРА



## ЭТАПЫ РАЗВИТИЯ ЖИВОТНОГО МИРА НА ЗЕМЛЕ

Синим цветом даны этапы развития жизни с момента ее возникновения. В это время жизнь была представлена сначала бактериями и сине-зелеными водорослями. Лишь в венде широко распространяются многоклеточные (кишечнополостные, членистоногие, моллюски, иглокожие). Это — эра древнейшей жизни (ее называют археозойской или архейской).

Зеленым цветом обозначены этапы развития животного мира в палеозойской и мезозойской эрах.

В кембрии многие животные приобретают скелеты. В ордовике жизнь по-прежнему представлена в морях, но уже в силуре — девоне начинается выход членистоногих, моллюсков и первых хордовых на сушу. Но в конце этого периода их начинают теснить ароморфные, т. е. лучше приспособленные к сухому климату, пресмыкающиеся, получившие большое распространение в пермском периоде. Вся мезозойская эра (триас, юра, мел) — эпоха господства пресмыкающихся: динозавров, ихтиозавров, летающих ящеров, черепах, крокодилов. Следующие ароморфные животные — млекопитающие и птицы — хотя и возникли в мезозое, однако они получили развитие лишь в последней эре — кайнозойской.

Желтым цветом показаны этапы развития животного мира в кайнозое. Начиная с палеоцена птицы и млекопитающие (копытные, хищники, хоботные, китообразные, приматы) развиваются и совершенствуются.

Розовым цветом дан последний период — плейстоцен с голоценом (современностью). Это — эпоха развития человека (на циферблате она меньше часа).

# ОБЩАЯ БИОЛОГИЯ

Учебник для 10–11 классов  
средней школы

Под редакцией члена-корреспондента АН СССР  
Ю. И. Полянского

Утверждено Государственным комитетом СССР по народному образованию  
22-е издание

Москва  
«Просвещение»  
1992

**Авторы:**

Ю. И. ПОЛЯНСКИЙ, А. Д. БРАУН, Н. М. ВЕРЗИЛИН, А. С. ДАНИЛЕВСКИЙ, Л. Н. ЖИНКИН, В. М. КОРСУНСКАЯ, К. М. СУХАНОВА

Учебник написан коллективом авторов, работа между которыми распределена следующим образом: канд. пед. наук В. М. Корсунской принадлежит тема «Эволюционное учение»; проф. А. Д. Брауном, проф. К. М. Сухановой, проф. Л. Н. Жинкиным написаны главы «Основы цитологии», «Размножение и индивидуальное развитие организмов», проф. Ю. И. Полянским — «Основы генетики», «Селекция растений, животных и микроорганизмов»; проф. А. С. Данилевскому принадлежит глава «Основы экологии», чл.-кор. АПН СССР Н. М. Верзилину — «Основы учения о биосфере» и «Эволюция биосферы. Нарушение природных закономерностей в результате деятельности человека».

**Общая биология: Учеб. для 10–11 кл. сред. шк.**  
О-28 Ю. И. Полянский, А. Д. Браун, Н. М. Верзилин и др.;  
Под ред. Ю. И. Полянского. — 22-е изд. — М.: Просвещение,  
1992. — 287 с.: ил. — ISBN 5-09-004182-2.

О  $\frac{4306021000-127}{103(03)-92}$  инф. письмо-92, № 141

ББК 28.0я72

# ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение . . . . .	6	12. Главные направления эволюции органического мира . . . . .	50
<b>ГЛАВА I. ЭВОЛЮЦИОННОЕ УЧЕНИЕ</b>		13. История развития жизни на Земле . . . . .	54
1. Эволюционные представления до Ч. Дарвина. Возникновение учения Дарвина . . . . .	11	<b>ГЛАВА III. ПРОИСХОЖДЕНИЕ ЧЕЛОВЕКА</b>	
2. Основные положения учения Дарвина. Значение дарвинизма . . . . .	14	14. Доказательства происхождения человека от животных . . . . .	59
3. Вид. Популяция . . . . .	16	15. Движущие силы (факторы) антропогенеза . . . . .	63
4. Наследственность и изменчивость . . . . .	19	16. Эволюция человека. Древнейшие люди . . . . .	67
5. Искусственный отбор. Происхождение и выведение пород животных и сортов растений . . . . .	22	17. Эволюция человека. Древние и первые современные люди . . . . .	70
6. Борьба за существование . . . . .	25	18. Человеческие расы. Критика расизма и социального дарвинизма . . . . .	73
7. Естественный отбор, другие факторы эволюции . . . . .	29	<b>ГЛАВА IV. ОСНОВЫ ЭКОЛОГИИ</b>	
8. Приспособленность организмов и ее относительность . . . . .	33	19. Задачи экологии. Экологические факторы и их взаимодействие. Математическое моделирование . . . . .	77
9. Образование новых видов . . . . .	38	20. Основные абиотические факторы среды и их значение для живой природы . . . . .	79
<b>ГЛАВА II. РАЗВИТИЕ ОРГАНИЧЕСКОГО МИРА</b>			
10. Макроэволюция, ее доказательства . . . . .	43		
11. Система растений и животных — отображение эволюции . . . . .	47		

21. Приспособление организмов к сезонным изменениям в природе. Фотопериодизм	82	39. Свойства и функции белков	153
22. Вид и популяция — их экологическая характеристика	86	40. Углеводы. Липиды	155
23. Проблемы рационального использования видов и сохранения их многообразия	89	41. Нуклеиновые кислоты. ДНК и РНК	157
24. Экологические системы	91	42. Обмен веществ. Аденозинтрифосфорная кислота — АТФ	162
25. Водоем и дубрава как примеры биогеоценозов	95	43. Энергетический обмен в клетке. Синтез АТФ	164
26. Изменения в биогеоценозах	101	44. Пластический обмен. Биосинтез белков. Синтез и-РНК	168
27. Биогеоценозы, создаваемые человеком	104	45. Синтез полипептидной цепи на рибосоме	171
		46. Особенности пластического и энергетического обмена растительной клетки	176

## ГЛАВА V. ОСНОВЫ УЧЕНИЯ О БИОСФЕРЕ

28. Биосфера и свойства биомассы планеты Земля	109
29. Биомасса поверхности суши и океана.	113
30. Круговорот веществ и превращения энергии в биосфере	117

## ГЛАВА VI. ОСНОВЫ ЦИТОЛОГИИ

31. Клеточная теория	123
32. Строение и функции оболочки клетки	127
33. Цитоплазма и ее органоиды: эндоплазматическая сеть, митохондрии и пластиды	132
34. Аппарат Гольджи, лизосомы и другие органоиды цитоплазмы. Включения	137
35. Ядро	140
36. Прокарнотические клетки. Неклеточные формы жизни — вирусы	142
37. Химический состав клетки. Неорганические вещества	145
38. Органические вещества клетки. Белки, их строение	148

## ГЛАВА VII. РАЗМНОЖЕНИЕ И ИНДИВИДУАЛЬНОЕ РАЗВИТИЕ ОРГАНИЗМОВ

47. Деление клетки. Митоз.	181
48. Формы размножения организмов	185
49. Мейоз	188
50. Оплодотворение	190
51. Индивидуальное развитие организма — онтогенез	192
52. Возникновение и начальное развитие жизни на Земле	196

## ГЛАВА VIII. ОСНОВЫ ГЕНЕТИКИ

53. Гибридологический метод изучения наследственности. Первый закон Менделя	205
54. Цитологические основы закономерностей наследования	210
55. Дигибридное скрещивание. Второй закон Менделя	213
56. Цитологические основы дигибридного скрещивания	216
57. Явление сцепленного наследования и генетика пола	217

58. Генотип как целостная система . . . . .	222
59. Генетика человека и ее значение для медицины и здравоохранения . . . . .	224
60. Модификационная изменчивость . . . . .	229
61. Наследственная изменчивость . . . . .	232
62. Материальные основы наследственности и изменчивости. Генная инженерия. . . . .	238
63. Генетика и эволюционная теория. . . . .	239

#### **ГЛАВА IX. СЕЛЕКЦИЯ РАСТЕНИЙ, ЖИВОТНЫХ И МИКРООРГАНИЗМОВ**

64. Задачи современной селекции . . . . .	245
65. Центры многообразия и	

происхождения культурных растений . . . . .	246
66. Селекция растений . . . . .	248
67. Работы И. В. Мичурина. Достижения селекции растений в Советском Союзе . . . . .	253
68. Селекция животных . . . . .	256
69. Создание высокопродуктивных пород домашних животных. Селекция микроорганизмов. Биотехнология . . . . .	260

#### **ГЛАВА X. ЭВОЛЮЦИЯ БИОСФЕРЫ. НАРУШЕНИЕ ПРИРОДНЫХ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ В РЕЗУЛЬТАТЕ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ЧЕЛОВЕКА**

70. Биосфера и научно-технический прогресс . . . . .	267
71. Ноосфера . . . . .	270
Указатель терминов . . . . .	277
Краткий словарь терминов . . . . .	281

# Введение

Биологические науки изучают многообразие строения и функций живых организмов, их развитие и взаимоотношения со средой обитания. Как ни разнообразны объекты и процессы, изучаемые биологией, их объединяет одно общее, присущее всем им свойство — жизнь. Этим они коренным образом отличаются от тел неживой природы: горных пород, минералов и т. п.

Но что такое жизнь? Чем живое отличается от неживого? Каковы наиболее общие свойства, присущие всем живым организмам? Ответы на эти вопросы и составляют одну из задач общей биологии — науки, изучающей основные и общие для всех организмов закономерности жизненных явлений.

В течение многих веков ученые не могли разрешить «загадку жизни» и видели ее качественное своеобразие в наличии в организмах особого начала нематериальной природы, которое получило название «жизненная сила» (лат. *vis vitalis*).

Успехи биологии в XIX в. и открытие Ч. Дарвином закона исторического развития органического мира заставили большую часть биологов отказаться от идеализма и искать решение основных биологических проблем путем познания материальных основ жизни.

В этой книге изложены главные достижения общей биологии в познании основных материальных законов жизни.

Органический мир не остается неизменным. Со времени появления жизни на Земле он непрерывно развивается в силу естественных материальных причин. Познание законов исторического развития (эволюции) органического мира — одна из центральных задач общей биологии.

Биология изучает все многообразие жизни на Земле, различные ее уровни организации: организменный, популяционный, видовой, биогеоценотический, биосферный. Исследование организмов растений, животных, грибов, микробов позволяет выявить особенности их строения, химического состава клетки, установить присущие им процессы жизнедеятельности и др.

Во всем огромном многообразии мира растений, животных, грибов и микроорганизмов обнаружено единство их строения. Оно заключается в том, что в основе строения почти всех

организмов лежит биологическая структурная единица — клетка. Единство строения и жизнедеятельность клеток различных организмов — одна из важных общебиологических закономерностей, указывающих на общность происхождения органического мира. Изучение структуры и функции клетки — важная задача общей биологии. При изучении клетки особый интерес и значение представляет ее размножение, обеспечивающее материальную преемственность жизни.

Каждый организм тесно связан с окружающей его средой. Между организмом и средой осуществляется непрерывный обмен веществ и энергии. При этом организмы обнаруживают замечательную способность к саморегуляции. Это выражается в том, что организм, пока он жив, сохраняет свое строение, химический состав, физические свойства. Хорошо известно, например, что температура тела теплокровных животных независимо от изменений температуры окружающей среды остается постоянной. Амебы, живущие в пресной воде, сохраняют постоянными физические свойства цитоплазмы, состав солей, осмотическое давление внутри клеток. Они регулируют обмен веществ и энергии, сохраняя свою целостность. Вопрос о механизмах саморегуляции организмов представляет собой одну из проблем общей биологии.

За последние годы особенно бурно развивается отрасль науки, пограничная между биологией, химией и физикой, получившая название молекулярной биологии. Ее задача — изучение основных жизненных явлений (обмен веществ, наследственность, раздражимость) на уровне молекул, слагающих клетку. Молекулярная биология раскрывает широкие перспективы в управлении человеком жизненными процессами. Огромных успехов добилась генетика — наука об изменчивости и наследственности организмов, широко использующая методы молекулярной биологии не только в области теории, но и в практике. Генетика служит основой селекции, задача которой — улучшение существующих и создание новых сортов культурных растений и пород домашних животных.

Перед генетикой открываются широкие перспективы по переделке на пользу человека наследственной природы различных организмов — микроорганизмов, растений, животных, используемых в медицине и народном хозяйстве.

На Земле обнаружено свыше 2 млн. видов растений, животных, грибов. Биология исследует закономерности распространения видов, приспособленность их к среде обитания, разнообразные связи между ними. Она изучает также структурную единицу вида — популяцию: ее численность, возрастной состав, связи между популяциями.

Популяции разных видов, всегда связанные с факторами внешней среды, входят в состав природных комплексов (пруд, лес, луг и т. п.). Каждый из таких комплексов, называемых

биогеоценозами, складывается из определенных видов растений, животных, микроорганизмов. Изучением таких комплексов наряду с другими биологическими науками занимается экология — один из разделов общей биологии.

Вся система биогеоценозов образует своеобразную оболочку, населенную жизнью, — биосферу. Ей принадлежит важная роль в формировании лика Земли, образовании горных пород, атмосферы, гидросферы. Достаточно указать, например, что наличие в воздушной оболочке Земли свободного кислорода всецело связано с жизнедеятельностью зеленых растений, выделяющих его в процессе фотосинтеза. Наличие свободного кислорода делает возможным существование современных животных и растений. Таким образом, общая биология изучает живую природу на всех уровнях ее организации — от организменного до биосферного.

Познание биологических законов открывает широкие перспективы для управления живой природой, изменения ее на благо человека. Использование естественных богатств — лесов, лугов, рек — должно опираться на знание биологических законов, определяющих взаимоотношения между организмами и окружающей средой. Биология указывает пути создания новых культурных биогеоценозов.

Акклиматизация растений и животных, увеличение рыбных богатств в морских и пресных водоемах невозможны без знания законов биологии.

Особенно большое значение для человечества и его будущего имеет охрана природы. В нашей стране охрана природы и рациональное использование природных ресурсов стали важнейшими общегосударственными задачами, от решения которых зависит благосостояние населения.

В Конституции Союза Советских Социалистических Республик охрана природы предусмотрена статьей 18, которая гласит:

«В интересах настоящего и будущих поколений в СССР принимаются необходимые меры для охраны и научно обоснованного, рационального использования земли и ее недр, водных ресурсов, растительного и животного мира, для сохранения в чистоте воздуха и воды, обеспечения воспроизводства природных богатств и улучшения окружающей человека среды».

Для реализации этой статьи Основного Закона в нашей стране ведется большая планомерная работа по охране природы. 25 июня 1980 г. Верховным Советом СССР принят Закон об охране и использовании животного мира. На основе этого Закона осуществляется ряд важных мероприятий по учету животных, регуляции их использования, созданию благоприятных условий для размножения и сохранения полезных и редких животных, по организации новых заказников и заповедников в разных регионах Советского Союза. Созданы «Красные книги», куда занесены наиболее редкие представители флоры и фауны СССР, в отношении которых необходимы особые меры охраны. Долг

советских людей — активно участвовать в мероприятиях по охране природы своей Родины.

Вопросы охраны и рационального использования природы не могут регулироваться одним государством, как бы велико оно ни было. Это актуальная проблема, затрагивающая всю нашу планету. Поэтому вопросы эти рассматриваются и разрабатываются международными организациями в системе Организации Объединенных Наций (ООН). Большое внимание вопросам охраны и рационального использования природы уделено проходившее в июле 1975 г. в Хельсинки Совещание по безопасности и сотрудничеству в Европе, в котором участвовали главы правительств 33 европейских государств, в том числе СССР, а также США и Канады. В Заключительном акте этого Совещания предусматривается широкое международное сотрудничество в борьбе с загрязнением воздуха, охране пресных и морских вод, охране почвенного покрова, охране живой природы и создании заповедников, улучшении состояния окружающей среды в населенных районах, широком развитии исследований окружающей среды по разработанным международным программам. Советский Союз активно участвует в разработке международных программ.

Генеральная Ассамблея ООН в 1982 г. торжественно провозгласила «Всемирную хартию природы». Согласно этому документу, имеющему принципиальное значение, основные природные процессы не должны нарушаться, численность популяций всех форм жизни необходимо сохранять на уровне, достаточном для выживания.

Познание законов жизни очень важно для медицины. Нужно изучить наследственность человека и научиться бороться с наследственными заболеваниями. Одержать победу над раком можно только на основе глубоких биологических исследований, раскрывающих сущность тех изменений, которые происходят в клетке при переходе ее к злокачественному росту.

Все более тесными становятся связи биологии с другими естественными науками — химией, физикой, математикой.

Огромное значение для развития биологии имеет совершенствование техники и методов исследования организма.

В век проникновения человека в космос перед биологией возникают новые задачи. В космических кораблях будут созданы такие биологические системы, которые обеспечат питание космонавтов, снабжение их кислородом, утилизацию (использование) отходов и т. д. Исследования в этих направлениях ведутся широким фронтом как в лабораториях на Земле, так и на космических кораблях.

В настоящее время биология представляет собой бурно развивающуюся науку, достижения которой чрезвычайно важны для будущего человечества. Не случайно некоторые ученые утверждают, что мы вступаем в «век биологии», который приведет человечество к управлению основными законами жизни.



# Эволюционное учение

## 1. Эволюционные представления до Ч. Дарвина. Возникновение учения Дарвина

На Земле существуют не менее 2 млн. видов животных, до 0,5 млн. видов растений, сотни тысяч видов грибов и микроорганизмов. Как возникло великое многообразие видов и приспособленность их к среде обитания? Ответ дает научная теория эволюции живой природы, основы которой в XIX в. заложил великий английский ученый Чарлз Дарвин.

До Дарвина большинство биологов держалось представлений о постоянстве и неизменности живых организмов — видов столько, сколько их создал бог. Организмы и органы полностью соответствуют цели, которую якобы поставил творец. Сущность мировоззрения этого периода заключается в представлениях о постоянстве, неизменности и изначальной целесообразности природы. Такое мировоззрение получило название метафизического (греч. «физис» — природа, «мета» — над). Метафизические представления поддерживались церковью и правящими кругами.

**Труды Карла Линнея.** В XVII—XVIII вв. накопилось множество описаний видов животных, растений, минералов. Огромную задачу систематизации этих материалов выполнил Карл Линней (1707—1778), шведский натуралист, врач. На основе сходства по одному-двум наиболее заметным признакам он классифицировал организмы на виды, роды, классы. Он правильно поместил в один отряд человека и человекообразных обезьян. Линней ввел в науку предложенные предшественниками двойные латинские названия — род и вид (*Canis familiaris* — собака домашняя, *Ribes rubrum* — смородина красная и т. д.). Латинские названия помогли общению ученых разных стран.

Линней полностью разделял метафизические представления о природе, усматривая в ней изначальную целесообразность, якобы доказывающую «премудрость творца». Каждый вид он считал результатом отдельного творческого акта, неизменным и постоянным, не связанным с другими видами родством. К концу жизни,

Многообразие защитных приспособлений к конкретным условиям существования у животных: угрожающая поза, отпугивающая и покровительственная окраска, сворачивание в шар, сходство с защищенным животным (мимикрия) и т. д.

однако, под влиянием наблюдений в природе он признал, что иногда виды могут возникать путем скрещивания или в результате действия изменений среды.

Значение трудов Линнея огромно: он предложил систему животных и растений, лучшую из всех предыдущих; ввел двойные названия видов; усовершенствовал ботанический язык.

**Учение Ж. Б. Ламарка об эволюции органического мира.** В начале XIX в. французский ученый Жан Батист Ламарк (1744—1829) изложил свои эволюционные идеи в труде «Философия зоологии». Ламарк подверг критике идеи о постоянстве и неизменяемости видов. Он утверждал, что образование новых видов происходит очень медленно и потому незаметно. В процессе эволюции высшие формы жизни взяли начало от низших.

Значение трудов Ламарка для дальнейшего развития биологии огромно. Он первый изложил идеи эволюции живой природы, утверждавшие историческое развитие от простого к сложному. Он первым поставил вопрос о факторах — движущих силах эволюции. Тем не менее Ламарк ошибочно выводил факторы эволюции из будто бы присущего всему живому стремления к совершенству. Неверно объяснял причины возникновения приспособленности прямым влиянием условий окружающей среды. Неверно и утверждение об обязательном появлении только полезных изменений и их наследовании.

Итак, наука XVIII — начала XIX в. не могла правильно объяснить движущие силы развития органического мира. Перед нею встали вопросы: как возникло огромное многообразие видов? Как объяснить приспособленность организмов к условиям окружающей среды? Почему в процессе эволюции происходит повышение организации живых существ?

**Эволюционные идеи в России.** М. В. Ломоносов, А. Н. Радищев и другие русские ученые XVIII в. высказывали эволюционные представления о развитии и изменемости природы. Рассуждения о создании природы богом М. В. Ломоносов считал вредными. В XIX в. эволюционные идеи получили некоторое развитие в трудах ученых и писателей, особенно из числа революционных демократов. Зоолог К. Ф. Рулье за 15 лет до появления учения Ч. Дарвина отмечал факты вытеснения одних видов другими и вымирания их в результате борьбы за область питания.

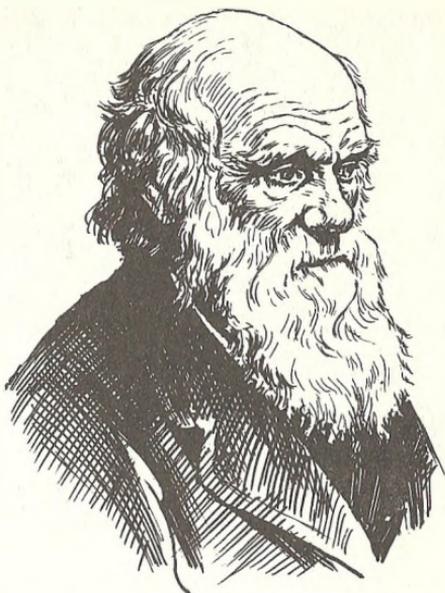
**Предпосылки возникновения учения Чарлза Дарвина.** Возникновению учения Ч. Дарвина способствовали общественно-экономические предпосылки. В первой половине XIX в. в странах Западной Европы, особенно в Англии, интенсивно развивался капитализм, который дал импульс развитию науки, промышленности, техники. Спрос промышленности на сырье и населения растущих городов на продукты питания способствовал развитию сельского хозяйства.

Другая предпосылка появления дарвинизма — *успехи естественных наук*. Описания систематических групп живых организмов приводили к мысли о возможности их родства. У многих животных сравнением установили единый план в строении тела и органов. Исследования ранних стадий развития зародышей хордовых выявили их поразительное сходство. Изучение ископаемых растений и животных раскрыло последовательную смену низкоорганизованных форм жизни более высокоорганизованными.

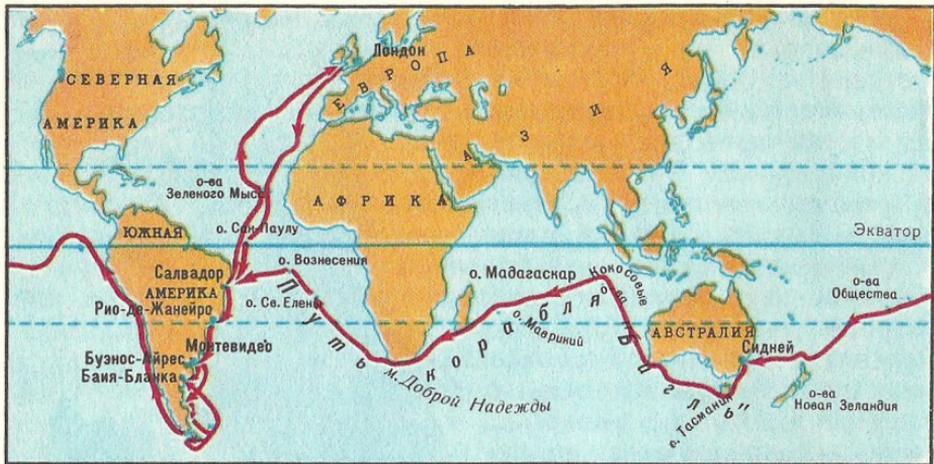
Обширные материалы заморских экспедиций, выведение новых пород животных и сортов растений не согласовывались с метафизическим мировоззрением. Нужен был гениальный ум, который сумел бы обобщить огромный материал в свете определенной идеи, связать стройной системой рассуждений. Таким ученым оказался Чарлз Дарвин (1809—1882).

С детства Ч. Дарвин увлекался сбором коллекций, химическими опытами, наблюдениями за животными. Студентом изучал научную литературу, овладел методикой полевых исследований. Ч. Дарвин на корабле «Бигл» (англ. — ищейка) совершил кругосветное путешествие. Он исследовал геологическое строение, флору и фауну многих стран, отправил в Англию огромное количество коллекций.

В Южной Америке, сравнив найденные останки вымерших животных с современными, Ч. Дарвин предположил их родство. На Галапагосских островах он нашел нигде более не встречающиеся виды ящериц, черепах, птиц. Они близки к южноамериканским. Галапагосские острова вулканического происхождения, и потому Ч. Дарвин предположил, что на них виды попали с материка и постепенно изменились. В Австралии его заинтересовали сумчатые и яйцекладущие, которые вымерли в других местах земного шара. Австралия как материк обособилась, когда еще не возникли высшие млекопитающие. Сумчатые и яйцекладущие развивались здесь независимо от эволюции млекопитающих на других материках. Так постепенно крепло убеждение в изменяемости видов и происхождении одних от других. Первые записи о происхождении видов Дарвин сделал во время кругосветного путешествия.



Ч. Дарвин.



## 1. Карта кругосветного путешествия Чарльза Дарвина (1831—1836).



1. В чем значение трудов Линнея? 2. Как Ламарк объяснял многообразие видов и приспособленность живых организмов к конкретным условиям окружающей среды? 3. Каковы предпосылки возникновения учения Ч. Дарвина?

## 2. Основные положения учения Дарвина. Значение дарвинизма

**Труды Дарвина.** После путешествия Дарвин в течение 20 лет упорно работал над созданием эволюционного учения и опубликовал его в труде «Происхождение видов путем естественного отбора, или Сохранение благоприятствуемых пород в борьбе за жизнь» (1859). В дальнейших произведениях Дарвин развивал и углублял различные стороны основной проблемы — происхождения видов. В книге «Изменение домашних животных и культурных растений» на огромном фактическом материале он показал закономерности эволюции пород домашних животных и сортов культурных растений.

В труде «Происхождение человека и половой отбор» Дарвин



### 2. Галапагосские вьюрки. Различие в форме клюва.

применил эволюционную теорию для объяснения происхождения человека от животных. Дарвину принадлежат капитальные труды по ботанике, зоологии и геологии, в которых детально разработаны отдельные вопросы эволюционной теории.

**Основные положения учения Дарвина.** Главная заслуга Дарвина в том, что он раскрыл движущие силы эволюции. Он материалистически объяснил возникновение и относительный характер приспособленности действием только естественных законов, без вмешательства сверхъестественных сил. Учение Дарвина в корне подрывало метафизические представления о постоянстве видов и сотворении их богом. Каковы же движущие силы эволюции пород домашних животных, сортов культурных растений и видов в дикой природе?

*Движущие силы эволюции пород и сортов — наследственная изменчивость и производимый человеком отбор.* Дарвин установил, что различные породы животных и сорта культурных растений созданы человеком в процессе искусственного отбора. Из поколения в поколение человек отбирал и оставлял на племя особей с каким-либо интересным для него изменением, обязательно наследственным, и устранял других особей от размножения. В результате были получены новые породы и сорта, признаки и свойства которых соответствовали интересам человека.

Нет ли подобного процесса в природе? Организмы размножаются в геометрической прогрессии, но до половозрелого состояния доживают относительно немногие. Значительная часть особей погибает, не оставив потомства совсем или оставив малое. Между особями как одного вида, так и разных видов возникает *борьба за существование*, под которой Дарвин понимал сложные и многообразные отношения организмов между собой и с условиями окружающей среды. Он имел в виду «не только жизнь одной особи, но и успех ее в обеспечении себя потомством».

Следствием борьбы за существование является *естественный отбор*. Этим термином Дарвин назвал «сохранение благоприятных индивидуальных различий и изменений и уничтожение вредных».

*Борьба за существование и естественный отбор на основе наследственной изменчивости являются, по Дарвину, основными движущими силами (факторами) эволюции органического мира.*

Индивидуальные наследственные уклонения, борьба за существование и естественный отбор в длинном ряду поколений приведут к изменению видов в направлении все большей приспособленности к конкретным условиям существования. Приспособленность организмов всегда относительна.

Другим результатом естественного отбора является многообразие видов, населяющих Землю.

**Оценка эволюционного учения Ч. Дарвина (дарвинизма).** К. Маркс и Ф. Энгельс многократно подчеркивали огромное значение учения Дарвина для развития науки и формирования диалек-

тико-материалистического мировоззрения. Учение Ч. Дарвина доказывало, что в живой природе действуют диалектические законы. В. И. Ленин отмечал, что Ч. Дарвин впервые поставил биологию на вполне научную почву, он положил конец воззрению на живые организмы как на ничем не связанные, случайные, созданные богом и неизменяемые.

**Влияние дарвинизма на развитие биологии.** На основе дарвинизма перестраивались все отрасли биологической науки. Палеонтология стала выяснять пути развития органического мира; систематика — родственные связи и происхождение систематических групп; эмбриология — устанавливать общее в стадиях индивидуального развития организмов в процессе эволюции; физиология человека и животных — сравнивать их жизнедеятельность и выявлять родственные связи между ними.

В начале XX в. началось экспериментальное изучение естественного отбора, быстро развивались генетика, экология. Идеи Дарвина в России встретили поддержку передовой интеллигенции. В вузах либеральная часть профессуры перестраивала курс зоологии и ботаники в свете дарвинизма. Появились статьи в журналах, освещавшие учение Дарвина. В 1864 г. «Происхождение видов» впервые было опубликовано на русском языке.

Большая роль в развитии биологической науки на основе дарвинизма принадлежит нашим отечественным ученым. Братья Ковалевские, К. А. Тимирязев, И. И. Мечников, И. П. Павлов, Н. И. Вавилов, А. Н. Северцов, И. И. Шмальгаузен, С. С. Четвериков и многие другие корифеи русской науки положили в основу своих исследований идеи Дарвина.



1. Что считал Дарвин движущими силами эволюции? 2. Почему учение Дарвина об эволюции органического мира получило высокую оценку основоположников марксизма-ленинизма? 3. Какое влияние оказало учение Дарвина на развитие биологической науки? 4. Какое значение имеет учение Дарвина в формировании материалистического мировоззрения?



### 3. Вид. Популяция

**Критерии вида.** *Видом считают совокупность особей, обладающих наследственным сходством морфологических, физиологических и биохимических особенностей, свободно скрещивающихся и дающих плодовитое потомство, приспособленных к определенным условиям жизни и занимающих в природе определенную область — ареал.*

Виды отличаются друг от друга многими признаками. Характерные для вида признаки и свойства называют *критериями*. Различают несколько критериев вида.

В основе *морфологического критерия* лежит сходство внешнего и внутреннего строения особей одного вида. Но особи в

пределах вида иногда настолько изменчивы, что только по морфологическому критерию не всегда удается определить вид. Вместе с тем существуют виды, морфологически сходные, однако особи таких видов не скрещиваются между собой. Это — виды-двойники, которые исследователи открывают во всех систематических группах. Например, у черных крыс два вида-двойника — с 38 и 42 хромосомами. Открыли 6 видов-двойников малярийного комара, раньше считавшихся одним видом. Таким образом, одни морфологические признаки не обеспечивают выделения вида.

*Генетический критерий* — это характерный для каждого вида набор хромосом, строго определенное их число, размеры и форма. Это — главный видовой признак. Особи разных видов имеют разные наборы хромосом, поэтому они не могут скрещиваться и отграничены друг от друга в естественных условиях.

В основе *физиологического критерия* лежит сходство всех процессов жизнедеятельности у особей одного вида, прежде всего сходство размножения. Представители разных видов, как правило, не скрещиваются, или потомство их бесплодно. Нескрещиваемость видов объясняется различиями в строении полового аппарата, сроках размножения и др. Однако в природе есть виды, которые скрещиваются и дают плодовитое потомство (некоторые виды канареек, зябликов, тополей, ив). Следовательно, физиологический критерий недостаточен для определения видовой принадлежности особей.

*Географический критерий* — это определенный ареал, занимаемый видом в природе. Он может быть большим или меньшим, прерывистым или сплошным. Есть виды, распространенные повсеместно и нередко в связи с деятельностью человека (многие виды сорных растений, насекомых-вредителей). Географический критерий также не может быть решающим.

Основа *экологического критерия* — совокупность факторов внешней среды, в которой существует вид. Например, лютик едкий распространен на лугах и полях; в более сырых местах растет лютик ползучий; по берегам рек и прудов, на болотистых местах встречается лютик жгучий (прыщинец).

В настоящее время ученые разработали и другие критерии вида, которые позволяют точнее определить место вида в системе органического мира (по различию белков и нуклеиновых кислот).

Для установления видовой принадлежности недостаточно использовать какой-нибудь один критерий; только совокупность их, взаимное подтверждение правильно характеризуют вид.

**Популяция — единица эволюции.** Особи любого вида распространены в пределах ареала неравномерно, как бы островами, т. е. густонаселенные участки сменяются редконаселенными. В лесах Западной Сибири береза распространена островами — роши, леса в степи. В средней полосе европейской части СССР береза встречается группами. На 1 км<sup>2</sup> в чистых березняках растут тысячи деревьев, в смешанных лесах — несколько

сотен. Такие сгущения чередуются с лугами, где на 1 км<sup>2</sup> падаются единичные березы.

Неравномерность распределения особей одного вида в ареале связана с различиями в условиях жизни, сложившимися в разных его участках (микроклимат, кормовые объекты, почва, другие виды и т. п.). Виды, жизнь которых связана с древесной растительностью, занимают в ареалах лесные участки. Колонии европейского крота встречаются на лесных опушках и лугах, жгучая крапива растет по канавам, огородам, около дорог.

Особи любого вида живут не поодиночке, а группами; между особями в таких группах на протяжении длительного времени сформировались сложные взаимоотношения. *Совокупность свободно скрещивающихся особей одного вида, которая длительно существует в определенной части ареала относительно обособленно от других совокупностей того же вида, называют популяцией.* Это элементарная структура вида, в форме которой он существует.

Что же объединяет особей в одну популяцию? Главный объединяющий фактор — это свободное скрещивание особей друг с другом. Особи одной популяции обладают большим сходством во всех свойствах и признаках по сравнению с особями даже соседней популяции того же вида. Возможности встречи особей разного пола и их скрещивания внутри популяции значительно выше, чем между особями соседних популяций.

Смешиванию популяций препятствуют различные барьеры: географические — горы, реки, моря, климат, почвы; биологические — у животных, например, некоторые различия в строении полового аппарата, сроках спаривания и гнездования, инстинкте сооружения нор и гнезд, поведении в период спаривания; у растений — в периоде цветения и опыления, в скорости прорастания пыльцы, в отношениях с насекомыми-опылителями. Все сказанное о популяциях относится главным образом к двуполом животным и к растениям с перекрестным опылением.

Различия между популяциями одного вида хорошо видны на следующем примере. Широко распространенный вид окунь обыкновенный в крупных озерах образует две популяции. Одна популяция живет в прибрежной зоне, особи питаются мелкими животными, растут медленно. Другая популяция обитает на большой глубине, особи питаются рыбой и их икрой, растут быстро.

В популяции постоянно возникают наследственные изменения. В результате скрещивания они распространяются в популяции и насыщают ее, она становится неоднородной. В популяции действует борьба за существование, а также естественный отбор, благодаря которым выживают и оставляют потомство лишь особи с полезными в данных условиях изменениями. Таким образом, популяция представляет собой единицу эволюции.

1. Назовите критерии вида и дайте характеристику каждого из них.
2. Почему для установления видовой принадлежности особей недостаточно какого-либо одного критерия?
3. Как в природе достигается нескрещиваемость видов?
4. Что представляет собой популяция? Приведите примеры популяций одного вида.
5. Объясните выражение «виды существуют в форме популяций».
6. Докажите, что популяция является единицей эволюции.



#### 4. Наследственность и изменчивость

**Наследственность.** *Наследственностью называют общее свойство всех организмов сохранять и передавать особенности строения и функций от предков к потомству.*

Связь родителей с потомками у организмов осуществляется в основном через размножение. Потомство всегда подобно родителям и предкам, но не бывает их точной копией.

Каждый знает, что из желудя вырастает дуб, из яиц кукушки выводятся ее птенцы. Из семян культурных растений определенного сорта вырастают растения того же сорта. У домашних животных сохраняют свойства потомки той же породы.

Почему же потомство похоже на своих родителей? Во времена Дарвина причины наследственности были мало изучены. В настоящее время известно, что материальную основу наследственности составляют гены, расположенные в хромосомах. Как вы узнаете дальше, в главе VIII, ген представляет собой участок молекулы органического вещества ДНК, под действием которого формируются признаки. В клетках организмов разных видов содержатся единицы и десятки хромосом и сотни тысяч генов.

Хромосомы с расположенными в них генами имеются как в половых клетках, так и в клетках тела. При половом размножении происходит слияние мужской и женской половых клеток. В клетках зародыша объединяются мужские и женские хромосомы, поэтому формирование его происходит под влиянием генов как материнского, так и отцовского организма. На развитие одних признаков большее влияние оказывают гены материнского организма, других — отцовского, на третьи признаки материнские и отцовские гены оказывают равное влияние. Поэтому потомство по одним признакам оказывается похожим на материнский организм, по другим — на отцовский, по третьим — совмещает признаки отца и матери, т. е. имеет промежуточный характер.

**Изменчивость.** *Изменчивостью называют общее свойство организмов приобретать новые признаки — различия между особями в пределах вида.*

Изменчивы все признаки организмов: особенности внешнего и внутреннего строения, физиологии, поведения и др. В потомстве одной пары животных или среди растений, выросших из семян одного плода, невозможно встретить совершенно одинаковых особей. В стаде овец одной породы каждое животное отличается еле уловимыми особенностями: размерами тела, длиной ног, го-

ловы, окраской, длиной и плотностью завитка шерсти, голосом, повадками. Количество краевых язычковых цветков в соцветиях золотой розги (сем. сложноцветных) колеблется от 5 до 8. Число лепестков ветреницы дубравной (сем. лютиковых) — 6, а иногда 7 и 8. Растения одного вида или сорта несколько отличаются друг от друга в сроках цветения, созревания плодов, степени засухоустойчивости и др. Благодаря изменчивости особей популяция оказывается разнородной.

Дарвин различал две основные формы изменчивости — ненаследственную и наследственную.

**Ненаследственная, или модификационная, изменчивость.** Давно было замечено, что все особи данной породы, сорта или вида под влиянием определенной причины изменяются в одном направлении. Сорта культурных растений при отсутствии условий, в которых они были выведены человеком, теряют свои качества. Например, белокочанная капуста при возделывании в жарких странах не образует кочана. Известно, что при хорошем удобрении, поливе, освещении растения обильно кустятся и плодоносят. Породы лошадей, завезенные в горы или на острова, где пища недостаточно питательна, со временем становятся низкорослыми. Продуктивность беспородных животных в условиях улучшенного содержания и ухода повышается. Все эти изменения ненаследственны, и если растения или животных перенести в исходные условия существования, то признаки вновь возвращаются к первоначальным.

Причины ненаследственной, или модификационной, изменчивости во времена Дарвина были слабо изучены. К настоящему времени выяснено, что формирование организма идет как под влиянием генов, так и под воздействием условий среды обитания. Эти условия и служат причиной ненаследственной, модификационной, изменчивости. Они могут ускорить или замедлить рост и развитие, изменить окраску цветков у растений, но гены при этом не изменяются. Благодаря ненаследственной изменчивости особи популяций оказываются приспособленными к меняющимся условиям среды.

**Наследственная изменчивость.** Кроме модификационной существует другая форма изменчивости — наследственная изменчивость, которая затрагивает хромосомы или гены, т. е. материальные основы наследственности. Наследственные изменения были хорошо известны Дарвину, им он отводил большую роль в эволюции.

Причины наследственной изменчивости во времена Дарвина также были мало исследованы. В настоящее время известно, что наследственные изменения обусловлены изменением генов или образованием новых комбинаций их в потомстве. Так, один вид наследственной изменчивости — мутации — обусловлен изменением генов; другой вид — комбинативная изменчивость — вызван новой комбинацией генов в потомстве; третий — соотно-

сительная изменчивость — связан с тем, что один и тот же ген оказывает влияние на формирование не одного, а двух и более признаков. Таким образом, в основе всех видов наследственной изменчивости лежит изменение гена или совокупности генов.

Мутации могут быть незначительными и затрагивать самые различные морфологические и физиологические особенности организма, например у животных — размеры, окраску, плодовитость, молочность и т. п. Иногда мутации проявляются в более значительных изменениях. Такого рода изменения были использованы при создании курдючных, мериносовых и каракулевых пород овец, махровых сортов многих декоративных растений, деревьев с плакучими и пирамидальными кронами. Известны наследственные изменения земляники с простыми яйцевидными листьями, чистотела с рассеченными листьями **3.**

Мутации могут происходить в силу самых различных воздействий.

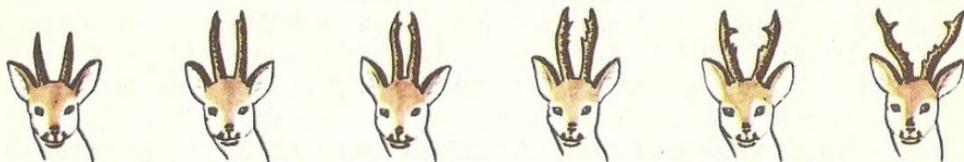
Источником комбинативной изменчивости в популяциях служит скрещивание. Отдельные особи одной и той же популяции несколько отличаются друг от друга по генотипу. В результате свободного скрещивания получаются новые комбинации генов.

Появившиеся в популяции в силу случайных причин наследственные изменения постепенно распространяются среди особей благодаря свободному скрещиванию, и популяция оказывается

Рисунки крыла бабочки



Рога сибирской носули



Мутация чистотела большого



### 3. Наследственная изменчивость.

насыщенной ими. Эти наследственные изменения сами по себе не могут привести ни к появлению новой популяции, ни тем более нового вида, но они являются необходимым материалом для отбора, предпосылкой для эволюционных изменений.

Еще Дарвин отметил *соотносительный характер наследственной изменчивости*. Например, длинные конечности животных почти всегда сопровождаются удлинённой шеей; у бесшерстных собак наблюдаются недоразвитые зубы; голуби с оперением на ногах имеют перепонки между пальцами. У столовых сортов свеклы согласованно изменяется окраска корнеплода, черешков и нижней стороны листьев. У львиного зева со светлыми венчиками цветков стебель и листья зелёные; с темными венчиками — стебель и листья тёмные. Поэтому, проводя отбор по одному, нужному признаку, следует учитывать возможность появления в потомстве других, иногда нежелательных признаков, соотносительно с ним связанных.

Наследственность и изменчивость — разные свойства организмов, обуславливающие сходство и несходство потомства с родителями и с более отдалёнными предками. Наследственность выражает устойчивость органических форм в ряду поколений, а изменчивость — их способность к преобразованию.

Дарвин неоднократно подчеркивал необходимость глубокой разработки законов изменчивости и наследственности. Позднее они стали предметом изучения генетики.

-  1. Дайте характеристику ненаследственной изменчивости, раскройте ее причины и приведите примеры. 2. Назовите формы наследственной изменчивости. Каковы причины их возникновения? 3. Что служит материалом и предпосылкой для эволюционных изменений? 4. Как практически узнать, является какое-либо изменение наследственным или нет? 5. На комнатных растениях одного вида проследите изменчивость формы, величины, окраски листьев, цветков. 6. Наблюдайте изменчивость у растений, насекомых на экскурсии или во время прогулки в природу и на учебно-опытном участке. Сделайте фотографии.

## 5. Искусственный отбор. Происхождение и выведение пород животных и сортов растений

Дарвин считал, что практикам хорошо известно, как получать новые породы домашних животных и сорта культурных растений. Поэтому он рассмотрел сначала причины образования пород и сортов, а потом — видов в естественном состоянии, полагая что при таком подходе его идеи будут более доказательными.

**Многообразие пород и сортов.** К 40-м годам прошлого столетия было известно большое число пород крупного рогатого скота (молочных, мясных, мясо-молочных), лошадей (тяжеловозов, скаковых), свиней, собак, а также кур. Число сортов

пшеницы превышало 300, винограда — 1000. Породы и сорта, принадлежащие к одним и тем же видам, часто настолько отличаются друг от друга, что их можно принять за разные виды. Каждая порода или каждый сорт по своим признакам всегда отвечает интересам человека, ради которых он их разводит.

Многие сторонники учения о постоянстве и неизменяемости видов считали, что каждая порода, каждый сорт произошли от отдельного дикого вида. Дарвин обстоятельно изучил происхождение разных пород домашних животных и пришел к заключению, что человек сам создал все их многообразие, как и сортов культурных растений, изменяя в разных направлениях один или несколько родоначальных диких видов. Особенно подробно Дарвин исследовал происхождение пород домашнего голубя.

**Происхождение пород и сортов.** Несмотря на большие различия, породы домашних голубей имеют очень важные общие признаки. Все домашние голуби — общественные птицы, гнездятся на зданиях, а не на деревьях, как дикие. Голуби разных пород легко скрещиваются и дают плодовитое потомство. При скрещивании особей, принадлежащих к разным породам, Дарвин получил потомство, по окраске удивительно сходное с диким сизым (скалистым) голубем. Ученый сделал вывод, что все породы домашних голубей произошли от одного вида — дикого сизого (скалистого) голубя, обитающего на крутых утесах Средиземноморского побережья и севернее, до Англии и Норвегии. Обыкновенный сизый голубь похож на него окраской оперения.

Точным исследованием анатомических и физиологических признаков Дарвин установил, что все породы домашних кур произошли от банкивской курицы — дикого вида, обитающего в Индии, на Шри-Ланке и Зондских островах; породы крупного рогатого скота — от дикого тура, истребленного в XVII в.; породы свиней — от дикого кабана. Сорта огородной капусты произошли от дикой капусты, еще и теперь встречающейся по западным берегам Европы.

**Выведение новых пород и сортов.** Достаточно ли только наследственной изменчивости для объяснения поразительного многообразия пород домашних животных и сортов культурных растений и их соответствия той цели, с которой их разводят?

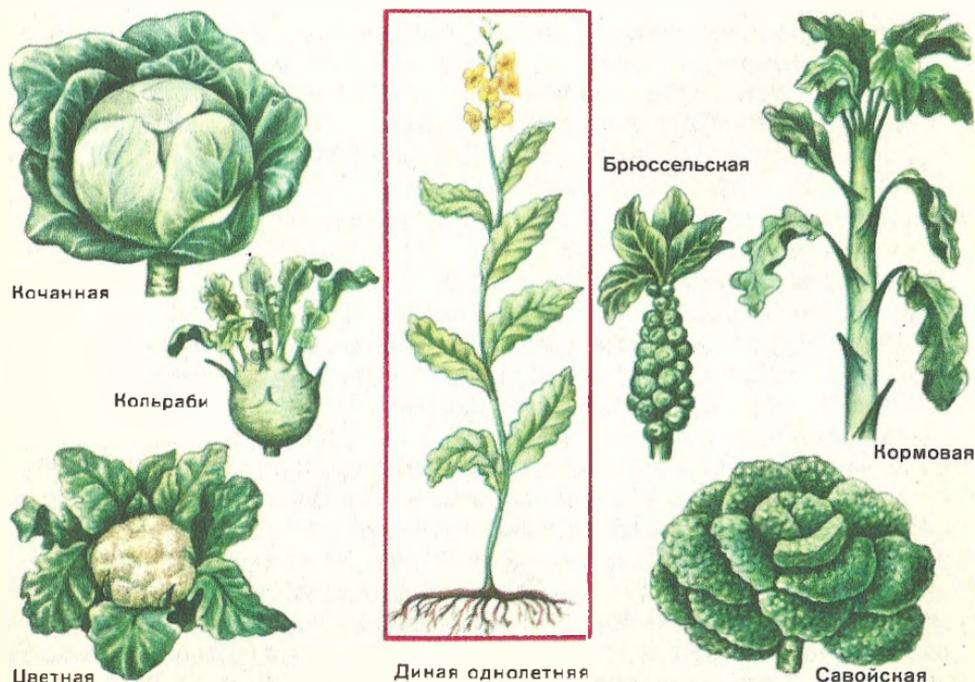
Дарвин обращается к сельскохозяйственной литературе, к отчетам выставок, старым каталогам и прейскурантам, изучает практику коннозаводчиков, голубеводов, садоводов и устанавливает, что постоянно появлялись новые породы и сорта, которые были более совершенны и разнообразны по своим признакам по сравнению с ранее существовавшими. В отдельных случаях новые признаки у животных и культурных растений возникали случайно, внезапно; человек не накапливал их путем направленного отбора. Так появились коротконогая овца, цельнолистная земляника. Они заинтересовали человека своей необычностью, и он закрепил эти признаки в породе, сорте. Но, как правило,

человек активно участвовал в длительном процессе создания нужных ему признаков и свойств пород и сортов.

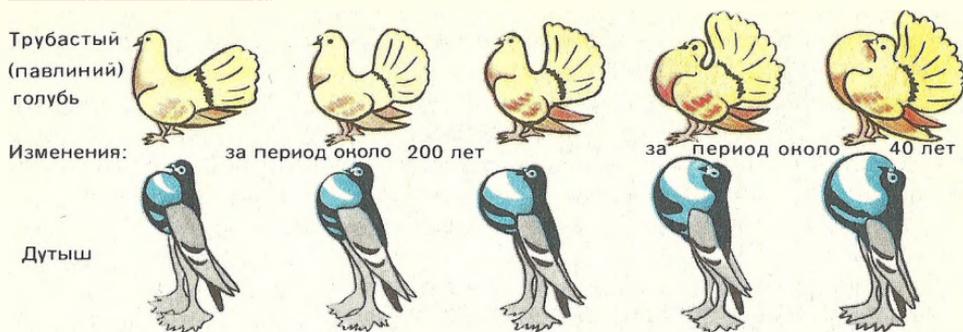
В стаде, стае, в поле, на грядке и т. д. человек замечал отдельное животное или растение с каким-то представляющим для него интерес, хотя бы и мелким наследственным отличием, отбирал эти особи на племя и скрещивал их. Все другие особи не допускались до размножения. Из поколения в поколение оставались в качестве производителей особи, у которых данный наследственный признак был выражен более заметно. Таким образом признак усиливался и накапливался в этой искусственной популяции.

Отбору иногда предшествовало скрещивание для получения в потомстве комбинаций генов, а значит, и более разнообразного материала для искусственного отбора. Например, родоначальник всемирно известной русской породы орловских рысаков был получен так. Сначала скрестили жеребца арабской верховой породы с лошастью датской тяжеловозной, а появившегося от них жеребца — с лошастью голландской рысистой породы. Затем проводился отбор по определенным признакам.

**Творческая роль отбора.** Отбор ведет к изменению органа или признака, совершенствование которого желательно для человека. Породы и сорта, происходящие от общих диких предков, развивались под влиянием человека в разных направле-



4. Породы капусты (по Дарвину) и их дикий родоначальник.



## 5. Постепенное нарастание признаков породы.

ниях сообразно его хозяйственным целям, вкусам и запросам. Они становились все более и более непохожими друг на друга и на дикий вид, от которого произошли. Роль искусственного отбора в эволюции пород и сортов неправильно было бы сравнить с решетом, через которое просто отсеиваются негодные для человека уклонения. Отбор особей с нужными человеку наследственными изменениями приводит к созданию совершенно новых сортов и пород, т. е. никогда ранее не существовавших органических форм с признаками и свойствами, сформированными самим человеком.

Поэтому искусственный отбор является главной движущей силой в образовании новых пород животных и сортов растений, приспособленных к интересам человека. Учение об искусственном отборе теоретически обобщило тысячелетнюю практику человека по созданию пород домашних животных и сортов культурных растений и стало одной из основ современной селекции.

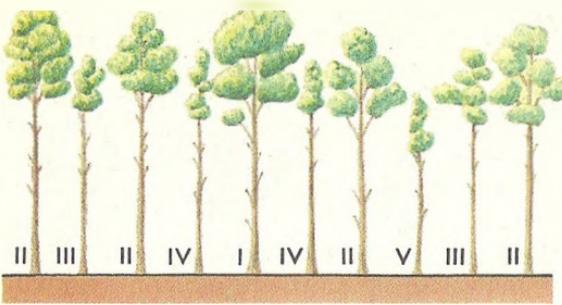
1. Как объяснить многообразие пород домашних животных и сортов культурных растений? 2. Какие формы изменчивости служат исходным материалом для искусственного отбора? 3. Покажите на примерах влияние отбора на направления породо- и сортообразования. 4. В чем состоит творческая роль искусственного отбора?



## 6. Борьба за существование

Как вы знаете, искусственный отбор на основе наследственной изменчивости приводит к созданию пород и сортов, приспособленных к хозяйственным интересам человека. Ч. Дарвин поставил вопрос: не существует ли и в природе процесс отбора, создающий организмы, приспособленные к условиям жизни?

**Интенсивность размножения.** Ч. Дарвин обратил внимание на способность всех живых существ производить большое количество потомков. Например, самка аскариды дает 200 тыс. яиц в сутки, серая крыса — 5 пометов в год, в среднем по 8 крысят, достигающих половозрелости с трех месяцев; в одном плоде кукушкиных слезок не менее 186 300 семян.



6. Сосны в одновозрастном лесном насаждении.  
Цифрами показана степень угнетения.

Если бы в популяции все особи каждого последующего поколения выживали и размножались, то каждый вид заселил бы все пригодные для него места на Земле.

**Формы борьбы за существование.** Особей в популяции появляется во много раз больше, чем может существовать на занимаемой ею территории. Несоответствие между численностью появляющихся в популяции особей и средствами к их жизни неизбежно приводит к борьбе за существование.

Под выражением «борьба за существование» понимают сложные и многообразные отношения особей внутри видов, между видами и с неорганической природой, имея в виду не только жизнь одной особи, но прежде всего ее плодовитость и успех в обеспечении себя потомством. Лишь в некоторых случаях борьба за существование выражается в прямой схватке: хищники грызутся из-за добычи или хищник сражается с жертвой.

Дарвин различал три формы борьбы за существование: внутривидовую, межвидовую и борьбу с неблагоприятными условиями неорганической природы.

*Внутривидовая борьба за существование* происходит между особями одной популяции любого вида. Эта форма борьбы наиболее напряженная, так как особи одной популяции нуждаются в одинаковой пище, одинаковых убежищах, подвергаются одинаковым опасностям. Примерами внутривидовой борьбы могут быть состязание между хищниками за добычу, соперничество из-за территории, из-за самки и т. д.

Яркую картину внутривидового состязания можно видеть в популяции одновозрастного хвойного леса 6. Самые высокие деревья широко раскинутыми кронами улавливают основную массу солнечных лучей; их мощная корневая система поглощает из почвы воду с растворенными в ней минеральными веществами в ущерб более слабым соседям. Деревья-победители подавляют рост и развитие других деревьев, вызывают их засыхание и гибель, сами же образуют множество семян.

Отношения особей в популяциях, а следовательно, внутри вида многообразны, сложны и противоречивы. В конечном счете

они большей частью служат сохранению популяции и вида. Видовые приспособления, полезные для всей популяции, могут быть вредными для отдельных особей и даже явиться причиной их гибели. Чайки при избыточной численности потомства уничтожают часть птенцов: поедают их или ударом в голову заставляют отрыгивать пищу, которую сразу вслед за этим схватывают взрослые птицы. Иногда синицы затаптывают в подстилку гнезда 1—2 птенцов.

При чрезмерном увеличении численности особей внутривидовая борьба в популяции обостряется. Это бывает вызвано ухудшением кормовых условий, слишком высокой плотностью населения и т. д. В таких случаях плодовитость особей в популяции снижается; нередко вспыхивают эпидемии, приводящие к массовой гибели особей и снижающие численность популяции.

Существует ряд приспособлений, которые помогают особям одной популяции избегать прямого столкновения между собой. Бурый медведь обозначает границы участка, на котором добывает себе пищу, царапинами на деревьях. Волк помечает свой индивидуальный кормовой участок мочой. Самцы синицы, зяблика возводят о занятии участка песней. Животные избегают нарушений границ чужих участков. В популяции у животных одного вида можно встретить взаимопомощь и сотрудничество: совместное выкармливание, воспитание и охрану потомства (например, в семьях пчел, табуна лошадей).

Таким образом, внутривидовая борьба сопровождается понижением плодовитости и гибелью части особей вида. Однако в целом это способствует совершенствованию вида в течение многих поколений в направлении большей приспособленности к среде обитания, к факторам, вызывающим эту борьбу.

*Межвидовая борьба за существование* наблюдается между популяциями различных видов. Она протекает обычно очень остро, если виды нуждаются в сходных условиях и относятся к одному роду. Серая и черная крысы — разные виды одного рода. В поселениях человека в Европе серая крыса совершенно вытеснила черную крысу, которая теперь встречается в лесных районах и пустынях. Серая крыса крупнее, лучше плавает и, главное, агрессивнее и потому в схватках с черной одерживает верх. Быстрое размножение дрозда-дерябы в некоторых частях Шотландии повлекло за собой сокращение численности другого вида — певчего дрозда. В Австралии обыкновенная пчела, которую привезли из Европы, вытесняет маленькую туземную, не имеющую жала.

В лесу под защитой светолюбивых пород — сосны, березы, осины — сначала хорошо развиваются всходы ели, которые вымерзают на открытых местах, но потом по мере смыкания кроны молодых елей всходы светолюбивых пород гибнут.

Межвидовая борьба за существование включает одностороннее использование одного вида другим, так называемые отноше-

ния типа «хищник — жертва» (рыбы поедают планктон). Однако примеры борьбы за существование не сводятся к борьбе в прямом смысле слова. Так, формой борьбы за существование в широком понимании являются и благоприятствование одного вида другому без ущерба для себя (птицы и млекопитающие распространяют плоды и семена), взаимное благоприятствование разных видов друг другу (цветки и их опылители).

В лесу, где столь ярко проявления биологического состязания, наблюдается и польза от совместного произрастания растений. Здесь по сравнению с открытыми местами создается свой тепловой, водный и воздушный режим: менее резкие колебания температуры, более высокая относительная влажность; под пологом деревьев верхних ярусов произрастают теневыносливые кустарники, травы, мхи, напочвенные водоросли.

*Борьба с неблагоприятными условиями* наблюдается в любой части ареала вида в тех случаях, когда внешние условия среды ухудшаются, например: при суточных и сезонных колебаниях температуры или влажности, а также всюду, где особи оказываются в условиях излишнего тепла или холода, сухости или влажности. Про растение в пустыне говорят, что оно «борется с засухой». При продвижении на север или при подъеме в горы в неблагоприятных климатических условиях встречаются зачахшие деревья и кустарники, хотя никакие другие растения их не теснят.

Борьба с неблагоприятными условиями также имеет большое значение для эволюции, так как она обостряет внутривидовую борьбу. Так, при недостатке тепла, питательных веществ между особями в популяции растений обостряется борьба за эти факторы. Победителями оказываются наиболее жизнеспособные (у них более интенсивно протекают физиологические процессы, обмен веществ). Если эти биологические особенности передаются по наследству, они в конечном счете приводят к совершенствованию вида.

**Использование человеком сложных взаимоотношений в живой природе.** Учение о борьбе за существование служит научной основой для решения многих вопросов практики, например для разработки биологического метода борьбы с вредителями сельского и лесного хозяйства. При установлении севооборотов соблюдают правильное чередование культур на полях, с учетом их отношения к почве, к воде, вредителям, болезням и пр. То же самое делают при искусственных лесопосадках (из дуба, березы, бука и др.), например вносят гифы грибов в почвы, лишённые их. Образующаяся микориза — симбиоз мицелия гриба и корней дерева — доставляет дереву влагу и питательные вещества из почвы, обеспечивая нормальный рост.

Для искусственного разведения рыбы водоемы сначала осваивают от хищных (щука, окунь) и малоценных видов (плотва, колюшка), а потом заселяют высокопродуктивными (каarp, сиг и др.). В этом же водоеме создают условия для развития кормо-

вых организмов. При ведении охотничьего хозяйства на научной основе нужно знание нормального соотношения половых и возрастных групп в стадах и стаях, а также размеры необходимых животным кормовых участков.

При истреблении хищников учитывают их санитарную роль в природе, которая заключается в уничтожении слабых и больных особей среди жертв. поголовное уничтожение волков в некоторых районах Канады привело к вспышке эпидемий у оленей и сокращению численности. С уничтожением хищных птиц сначала быстро увеличивается численность дичи (куропатов, рябчиков), но затем наблюдается ее массовая гибель от глистных и других заболеваний.

Для лечения и предупреждения различных инфекционных заболеваний человека и животных применяют антибиотики и фитонциды. Те и другие представляют собой вырабатываемые растениями вещества, которые способны угнетать жизнедеятельность вредных для этих растений микроорганизмов. Антибиотики вырабатываются многими низшими грибами, фитонциды — многими цветковыми растениями как приспособления в борьбе с другими видами.

1. Какой смысл вкладывал Дарвин в выражение «борьба за существование»? 2. Какие взаимоотношения существуют между особями одной популяции, между особями разных видов, между особями популяций и условиями среды? 3. Каковы причины и следствия борьбы за существование? 4. Приведите примеры использования человеком взаимосвязей в живой природе.



## 7. Естественный отбор, другие факторы эволюции

Какие же особи популяции в борьбе за существование достигнут взрослого состояния и будут размножаться?

**Сущность естественного отбора.** Наследственные изменения у особей одной популяции идут в различных направлениях и могут быть самыми разнообразными (с. 28) в одинаковых условиях среды.

Из поколения в поколение особи с полезными в определенных условиях среды наследственными изменениями преимущественно сохраняются в борьбе за существование и оставляют после себя плодovitое потомство. Наоборот, особи с вредными в тех же условиях наследственными изменениями оставляют все более малочисленное и слабое потомство, что в конце концов может привести к вымиранию вида.

*Естественным отбором называют процесс, в результате которого выживают и оставляют после себя потомство преимущественно особи с полезными в данных условиях наследственными изменениями.*

Дарвин предупреждал, что естественный отбор не есть «сознательный выбор со стороны животных, испытывающих изме-

нение». Роль отбирающего фактора играют условия среды. Выражение «естественный отбор» Дарвин употреблял ради краткости речи в метафорическом смысле, чтобы обозначить результат действия естественных законов.

**Отбор в популяциях.** Отбор начинается внутри популяции. Каждая природная популяция представляет собой группу несколько различающихся особей одного вида, а следовательно, и с различными морфологическими признаками и физиологическими свойствами. Чем разнообразнее популяция, тем эффективнее действует естественный отбор.

Изучение популяций насекомых и некоторых млекопитающих выявило значительную интенсивность борьбы за существование и естественного отбора и осязательность его результатов в относительно короткое время.

В индустриальных районах многих европейских стран, где кора, стволы деревьев и листья часто покрыты сажой и копотью, за последние 100 лет темноокрашенные насекомые вытесняют светлоокрашенных. В Англии, например, более 70% ночных бабочек стали темными. Этот процесс идет в популяциях под действием естественного отбора на лучшую защитную окраску тела, которая спасает бабочек от поедания птицами. Наоборот, в непромышленных районах преимущественному истреблению подвергаются темные особи популяций. Замечено также, что с уменьшением загрязнения воздуха в Бирмингеме вдвое снизилась численность двухточечной божьей коровки темного тона: насекомые стали заметнее на общем посветлевшем фоне и птицы усиленно клевали их.

За последнее время обнаружены популяции различных видов насекомых и клещей, устойчивых к ядохимикатам, от которых они ранее гибли. Возникновение таких популяций объясняется появлением мутации, обострением внутривидовой борьбы (из-за усиления борьбы с неблагоприятными условиями) и действием естественного отбора. На особей популяции ядохимикаты действуют неодинаково, так как у некоторых из них возникли мутации, способствующие повышению устойчивости к яду. Эти мутации в результате скрещивания особей распространяются в популяции, а естественный отбор сохраняет их, что в конечном счете ведет к возникновению новой популяции, на которую данный ядохимикат не действует. Внутри популяции идет отбор особей, которые имеют более плодовитое потомство. *Отбор всегда имеет направленный характер, он совершенствует приспособления к условиям существования.*

Отличия данной популяции от других популяций одного и того же вида усиливаются и закрепляются.

Если условия среды более или менее постоянны, то относительно давно существующие в них популяции остаются почти неизменными в течение многих миллионов лет (кистеперые рыбы, пресмыкающееся гаттерия). Все особи с признаками, сильно

уклоняющимися от их нормы в данных условиях, отметались в борьбе за существование отбором. Исследования погибших во время бури воробьев (Англия, 1899) показали, что они большей частью были короткокрылыми или длиннокрылыми, особи со средними крыльями почти все уцелели.

При изменении условий среды в преимущественном положении будут особи, у которых имеются мутации, полезные в новых условиях. Из поколения в поколение такие особи успешнее выживают и размножаются, а всех других устраняет отбор. Это ведет к установлению новой нормы признаков. На мелких океанических островах, где часты сильные ветры, Дарвин нашел в основном бескрылых и длиннокрылых насекомых. На этих островах могли сохраняться и размножаться насекомые с длинными крыльями, способные бороться с ветром, или же те, которые совсем не поднимались в воздух, забиваясь в щели. Особей со среднеразвитыми крыльями ветер уносил в океан, и они погибали.

На острове Вознесения, открытом ветрам со всех сторон, не оказалось ни одного дерева. То же было и на острове Кергелен, где почти все растения стелются по земле, а самое высокое едва достигает 1 м. Многие растения образуют плотные дерновые подушки. Растения высокие или со слабым укоренением стеблей уничтожались здесь в процессе борьбы за существование многовековым отбором.

**Творческая роль естественного отбора.** Естественному отбору подвергаются особи с совершенно неуловимыми для человека особенностями. Любое самое маловажное, но полезное в борьбе за существование наследственное изменение может подхватываться естественным отбором. Следовательно, естественный отбор действует через сохранение и накопление полезных для популяции и вида в целом наследственных изменений, создавая новые, лучше других приспособленные к среде и оставляющие потомство особи. В борьбе за существование такие особи погибают реже.

Естественный отбор действует медленно и распространяется на особи обоего пола и любого возраста.

Естественный отбор играет творческую роль в природе: из ненаправленных наследственных изменений отбираются те, которые могут привести к образованию новых групп особей, более совершенных в данных условиях существования.

*Естественный отбор — главная движущая сила процесса эволюции.* Он протекает успешнее при широком расселении вида, которое ведет к увеличению числа популяций и повышению разнообразия их генного состава (с. 19). При таких условиях возможности отбора расширяются. В различные сезоны года и в разные годы меняются интенсивность и направление естественного отбора. Это связано с биологией особей и колебаниями условий существования.

**Сравнение действия искусственного и естественного отбора.**

Основой обоих процессов служит наследственная изменчивость, она доставляет материал для отбора. В результате действия искусственного и естественного отбора создаются новые формы: при искусственном отборе — породы и сорта, а при естественном — виды. Между этими двумя процессами есть существенное различие. При искусственном отборе человек отбирает особей по замеченным признакам и направляет действие отбора в желательную ему сторону. При этом особи с отбираемыми признаками могут оказаться даже с вредными для организма. Так, лучшие породы свиней или молочного скота не могли бы существовать в природе без заботы человека. При естественном отборе отбирающим фактором являются условия окружающей среды. При этом отбираются любые жизненно важные признаки. В силу этого естественный отбор действует только на пользу популяции и вида в целом.

В результате искусственного отбора создаются породы домашних животных и сорта культурных растений, приспособленные человеком к его потребностям и намеченным целям. А в результате естественного отбора возникают виды, приспособленные к жизни в определенных условиях окружающей среды.

Искусственный отбор проводится с того времени, как человек стал заниматься земледелием и приручением животных. Естественный отбор происходит в течение всей истории органического мира, со времени появления жизни на Земле. Естественный и искусственный отбор органически связаны: на породы животных и сорта растений, помимо искусственного отбора, продолжает действовать и естественный отбор.

**Другие факторы эволюции.** Основные положения теории эволюции Дарвина в настоящее время не утратили своего значения, а получили новые подтверждения и развитие. Глубоко разрабатывается учение о мутациях и комбинативной изменчивости, исследуется механизм их возникновения. Ведутся экспериментальные исследования действия естественного отбора. Выявляются новые факторы эволюции, к числу которых следует отнести популяционные волны, или волны жизни.

В природе постоянно происходит колебание численности популяции: число особей в популяции то сокращается, то увеличивается. Эти процессы сменяют друг друга более или менее регулярно, поэтому их называют волнами жизни или популяционными волнами. В одних случаях они связаны с сезоном года (у многих насекомых, у однолетних растений). В других случаях волны наблюдаются через более длительные сроки и связаны с колебаниями климатических условий или урожая кормов (массовое размножение белок, зайцев, мышей, насекомых). Иногда причиной изменения численности популяций являются лесной пожар, наводнение, очень сильные морозы или засухи.

Волны эти совершенно случайно и резко изменяют в популяции концентрации редко встречающихся генов и генотипов.

В период спада волн одни гены и генотипы могут исчезнуть полностью, притом случайно и независимо от их биологической ценности. А другие также случайно останутся и при новом нарастании численности популяции резко повысят свою концентрацию. Популяционные волны, как и мутационный процесс, представляют случайный, ненаправленный наследственный материал для борьбы за существование и естественного отбора.

К факторам эволюции относится также изоляция, т. е. возникновение различных преград к свободному скрещиванию особей (с. 18), что приводит к появлению существенных различий в геномном составе разных популяций одного вида, т. е. к еще большему обособлению популяций.

Все рассмотренные факторы не направляют эволюционный процесс в какую-либо определенную сторону. Они повышают или понижают концентрацию различных генотипов в популяции и влияют на эффективность естественного отбора. Единственным эволюционным фактором направляющего значения является естественный отбор, так как его действие обусловлено конкретными условиями среды и ведет к приспособлению для существования в ней видов. Естественный отбор приводит к образованию новых популяций и в дальнейшем подвидов и видов.

1. Как объяснить, что естественный отбор начинается в популяции?
2. В чем заключается творческая роль естественного отбора?
3. Каковы движущие силы эволюции видов в природе?
4. Почему приходится создавать новые ядохимикаты против насекомых-вредителей?
5. Что представляют собой популяционные волны и какова их роль в эволюции?



## 8. Приспособленность организмов и ее относительность

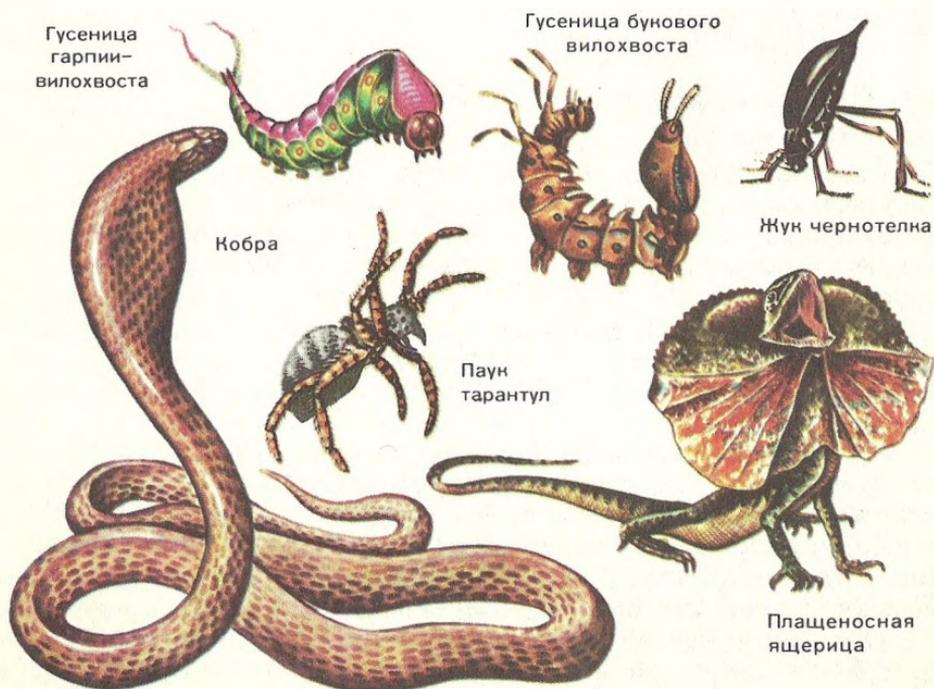
**Многообразие приспособленности.** Внешнее и внутреннее строение, инстинкты, поведение животных характеризуются приспособленностью к условиям их жизни. (Разберитесь в чем выражается приспособленность животных, изображенных на рисунках  и ). В одной и той же среде разные животные имеют разные приспособления. Крот роет землю конечностями, а слепыш проделывает подземные ходы головой и сильными резцами. Тюлень плавает при помощи ластов, а дельфин — хвостового плавника.

Различные приспособления обеспечивают перекрестное опыление растений (приведите примеры). Нежные весенние ростки ветреницы и голубой перелески переносят температуру ниже нуля благодаря концентрированному раствору сахара в клеточном соке. Низкорослость, мелколистность, поверхностное расположение корней деревьев и кустарников, очень быстрое развитие растительности весной и летом — во всем этом сказывается приспособленность к жизни в тундре.

Различная интенсивность размножения служит важным приспособлением к сохранению вида, его популяций. Наиболее мно-

гочисленное потомство у видов, у которых оно в массе уничтожается (черви-паразиты, многие виды рыб), и немногочисленное — у видов с развитым инстинктом заботы о потомстве. Колюшка откладывает всего 120—150 икринок в гнездо, построенное самцом, который охраняет оплодотворенную икру и мальков. Треска мечет до 4 млн. икринок и потомство не охраняет.

**Происхождение приспособленности у организмов.** Теория Дарвина материалистически объясняет появление сложных и многообразных приспособлений к конкретным условиям окружающей среды. Рассмотрим возникновение покровительственной окраски тела гусениц какой-то популяции, живущей на зеленых листьях. Предки их могли быть другой окраски и не питаться листьями. Предположим, что в силу каких-то обстоятельств они вынуждены были перейти на питание зелеными листьями. Популяции этих насекомых были неоднородны по окраске в связи с постоянно возникающими мутациями, поэтому среди множества гусениц были особи с зеленоватой окраской, менее заметной на фоне листвы. В борьбе за существование под воздействием естественного отбора выживали и оставляли потомство преимущественно особи с зеленоватой окраской. В последующих поколениях этот процесс продолжался, окраска тела гусениц все более соответствовала основному фону окружающей среды.



7. Угрожающие позы у различных животных.



8. Морской конек и игла-рыба в зарослях растений.

Так же можно объяснить возникновение мимикрии. Особи с малейшими наследственными уклонениями в форме тела, окраске, поведении, усиливающими сходство с защищенными животными, имели больше возможности выжить и оставить потомство по сравнению с теми особями, которые не обладали полезными изменениями. Из поколения в поколение полезное изменение усиливалось и совершенствовалось под воздействием борьбы за существование и естественного отбора и вело к накоплению признаков сходства с защищенными животными.

Каждое приспособление и весь комплекс их вырабатываются на основе наследственной изменчивости в процессе борьбы за существование и отбора в ряду поколений. *Приспособленность организмов является результатом действия движущих сил эволюции в данных условиях существования.*

Объяснение возникновения приспособленности, данное Дарвином, в корне отличается от понимания этого вопроса Ламарком (с. 12). Невозможно предположить, что животные «упражнялись» в окраске или форме тела и в результате этого стали приспособленными. Нельзя объяснить и взаимную приспособленность организмов друг к другу, например соответствие хоботка у рабочих пчел строению цветка опыляемых ими растений: рабочие пчелы не размножаются, а пчелиные матки, хотя и производят потомство, не могут «упражнять» хоботок, так как не собирают пыльцу. Теория прямого приспособления организмов путем появления у них только полезных наследственных изменений в конечном счете вытекает из представлений об изначальной целесообразности (с. 12). Вскрыть ее идеалистический характер можно на основе учения Дарвина о движущих силах эволюции.

**Относительность приспособленности организмов.** Целесообразность строения и функций организма выражается в его соотношениях только с конкретной внешней средой. Любая приспособленность помогает организмам выжить лишь в тех условиях, в которых она сформировалась под влиянием движущих сил эволюции. Но и в этих условиях она относительна. В яркий солнечный день зимой белая куропатка выдает себя тенью на снегу. Заяц-беляк, не заметный на снегу в лесу, становится видным на фоне темных стволов.

Наблюдения за проявлением инстинктов у животных в ряде случаев показывают их относительную целесообразность. Ночные бабочки летят на огонь, хотя и гибнут при этом. Их влечет к огню инстинкт: они собирают нектар в основном со светлых цветков, хорошо заметных ночью.

Узкая специализация органа может стать причиной гибели организма. Стриж не может взлететь с ровной поверхности, так как у него длинные крылья и очень короткие ноги. Он взлетает, только оттолкнувшись от какого-то края, как от трамплина.

Приспособления растений, препятствующие поеданию их животными, относительны. Скот, как правило, обходит растения, защищенные колючками, но верблюжью колючку охотно поедают верблюды, козы, голодный крупный рогатый скот.

Польза симбиоза — сожительства организмов, принадлежащих к разным видам, например водоросли и гриба в лишайнике, — также относительна. Иногда грибные нити лишайника разрушают сожительство с ними водоросли.

У организмов встречаются ненужные органы и признаки, например грифельные косточки у лошадей, перепонки между пальцами у горных гусей, которые никогда не опускаются на воду, остатки третьего века у обезьян и человека.

Все эти и многие другие факты говорят, что приспособленность не абсолютна, а относительна.

**Экспериментальные доказательства естественного отбора.** В настоящее время накопился большой экспериментальный материал, подтверждающий наличие естественного отбора в природе, позволяющий наблюдать его течение и детализировать формы.

В течение ряда лет измеряли ширину головогрудного щита у крабов, обитающих в одной бухте (Англия), где с постройкой нового мола уменьшилась циркуляция воды и она помутнела от меловой взвеси, которую приносили две речки. Оказалось, что преимущественно выживали крабы с узким головогрудным щитом. Почему? Опыт в аквариуме показал, что у особей с широким головогрудным щитом жабры засорились меловой взвесью и животные погибали.

Куколок бабочки-крапивницы разместили на растениях крапивы, заборах, стволах деревьев и т. д. Птицы очень быстро уничтожили подавляющее большинство куколок, оставив лишь немногих на крапиве, где куколки и гусеницы бабочки незаметны благодаря покровительственной окраске.

Наблюдали за поведением крапивника (отряд воробьиных), который не клевал гусениц пяденицы с покровительственной окраской, пока они не шевелились.

Интересны данные, подтверждающие значение предостерегающей окраски в процессе естественного отбора. На опушке леса разложили на досках насекомых 200 видов. Птицы склевали только тех, которые не имели предостерегающей окраски.

Большинство птиц избегают перепончатокрылых насекомых с неприятным вкусом. Клюнув осу, птица три — шесть месяцев не трогает и осовидных мух. Потом начинает клевать их, пока не попадает на осу, после чего опять долго не трогает мух.

Проводились опыты по искусственной мимикрии. Птицы охотно поедали личинок жука мучного хрущака, окрашенных безвкусной краской кармином. Часть личинок покрывали смесью краски с хинином или другим неприятным на вкус веществом. Птицы, натолкнувшись на таких личинок, перестали клевать всех окрашенных личинок.

Рыбы гамбузии были помещены в бассейны с различно окрашенным дном. Птицы уничтожили 70% рыб в том бассейне, где они были более заметны, и 43% там, где они по окраске лучше подходили к фону дна.

Экспериментальное исследование естественного отбора проводилось и ботаниками. Оказалось, что у сорных растений есть биологические особенности, возникновение и развитие которых можно объяснить только приспособленностью к условиям, созданным человеческой культурой. Например, у растений рыжик (сем. крестоцветных) и торица (сем. гвоздичных) семена очень похожи по величине и массе на семена льна, посевы которого они засоряют. То же можно сказать о семенах погремка бескрылого (сем. норичниковых), засоряющего посевы ржи. Сорные растения созревают обычно одновременно с культурными. Семена этих растений трудно отделить друг от друга при просеивании. Человек скашивал, обмолачивал сорняки вместе с урожаем, а потом высевал на поле.

Следовательно, человек невольно и бессознательно способствовал естественному отбору семян различных растений на сходство с семенами культурных растений.

1. У растений и животных уголка живой природы рассмотрите черты приспособленности к условиям среды их обитания. 2. Как объяснить возникновение предостерегающей окраски у насекомых? 3. Приведите примеры, кроме указанных в учебнике, относительной приспособленности у растений и животных. 4. Как объяснить относительный характер приспособленности? 5. В чем расходятся взгляды Дарвина и Ламарка по вопросу приспособленности организмов к условиям жизни?



## 9. Образование новых видов

**Дарвин о видообразовании. Микроэволюция.** Образование новых видов в природе является важнейшим этапом в процессе эволюции. Дарвин доказал, что образование новых видов в природе происходит под влиянием движущих сил эволюции. При изменении условий существования внутри вида идет процесс расхождения признаков — дивергенция, которая приводит к образованию новых группировок особей внутри вида. От исходного вида берет начало целый «пучок» форм, но не все они получают

дальнейшее развитие. Наиболее расходящиеся по признакам формы обладают большими возможностями оставлять плодотворное потомство и выживать, так как они меньше конкурируют между собой, чем промежуточные, которые постепенно вымирают в борьбе за существование под действием естественного отбора в бесконечном ряду поколений.

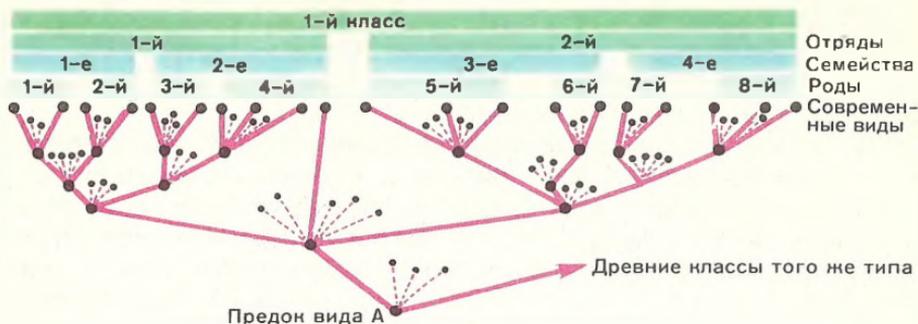
В природе не всегда сохранялись лишь наиболее расходящиеся, крайние формы, средние также могли выжить и дать потомство. Из крайних форм иногда развивается одна, но может развиваться и более. Если условия среды не изменяются или мало изменяются в течение длительного времени, то вид остается почти неизменным по сравнению с родоначальным.

Рассмотрите схему, наглядно показывающую эволюцию высших систематических групп **9**.

С 30-х годов текущего столетия внимание ученых привлекает популяция как форма существования вида (с. 18). Новые исследования проливают свет на самые начальные этапы эволюционного процесса, которые протекают внутри вида и приводят к образованию новых внутривидовых группировок — популяций и подвидов. Этот процесс называют *микроэволюцией*. Она доступна непосредственному наблюдению и изучению, так как может происходить в исторически короткое время.

*Географическое видообразование* связано с расширением ареала исходного вида или с расчленением ареала на изолированные части физическими преградами (горы, реки, изменения климата). При расширении ареала вида его популяции встречаются с новыми почвенно-климатическими условиями, а также с новыми сообществами животных, растений и микроорганизмов. В популяции постоянно возникают наследственные изменения, происходит борьба за существование, действует естественный отбор. Все это со временем приводит к изменению генного состава популяции — к микроэволюции. В дальнейшем эволюция популяции может привести к возникновению нового вида.

Например, лиственница сибирская далеко продвинулась на восток; ее популяции заселили территорию от Урала до Байкала и оказались в различных условиях. У особей популяции постоянно возникали мутации, в результате скрещивания появлялись новые комбинации генов; благодаря этим процессам популяция становилась неоднородной. В процессе борьбы за существование и в результате действия естественного отбора выживали и оставляли потомство особи с полезными в конкретных условиях обитания изменениями. Действие этих факторов на протяжении длительного времени способствовало появлению более резких различий между популяциями и в конечном итоге возникновению биологической изоляции — нескрещиваемости особей разных популяций одного вида. В результате в более суровых условиях под действием движущих сил эволюции сформировался новый вид — лиственница даурская.



## 9. Эволюция систематических групп.

В условиях Крайнего Севера подобным образом образовался особый вид мака с небольшими, сильно опушенными листьями, быстрым развитием коротких цветоносов и ранним цветением. Еще пример: у лесного ландыша сначала был сплошной ареал, но с оледенением он распался на изолированные части; на этих территориях сформировались самостоятельные популяции, признаваемые некоторыми учеными за молодые виды.

Повсеместно распространенный в Европе прострел занимает непрерывный ареал с запада на восток. У западной формы листья тонко рассечены и разбросаны, цветки поникшие, благодаря чему при обилии дождей на западе вода разбрызгивается и не застаивается, а пыльца не смывается. Восточная форма в засушливых условиях характерна более грубо рассеченными, стоячими листьями и стоячими цветками, по которым вода стекает к корням. Опытами доказано, что листья восточной формы испаряют воду значительно меньше, чем листья западной. Все эти отличия прострела на западе Европы от прострела на востоке носят приспособительный характер. Между западной и восточной формами прострела существует непрерывный ряд переходных форм.

В средней полосе Советского Союза произрастает более 20 видов лютика. Все они произошли от одного вида. Потомки его заселили различные места обитания — степи, леса, поля — и благодаря изоляции обособились друг от друга сначала в подвиды, потом в виды **10.**

Вид синица большая представляет сложный комплекс популяций и подвидов, находящихся на разных ступенях изоляции. Ареалы трех подвидов синицы большой — евроазиатского, южноазиатского и восточноазиатского — образуют кольцо вокруг Центральноазиатского нагорья — кольцевой ареал. Подвиды занимают хорошо очерченные ареалы, но в зонах контакта южноазиатские синицы скрещиваются с двумя другими подвидами. Восточноазиатские и евроазиатские, обитая совместно в долинах верхнего Амура не скрещиваются. Обособление ареалов синиц и образование их подвидов связано с наступлением ледника.

В озере Байкал живут многие виды и роды ресничных плоских червей, ракообразных и рыб, больше нигде не встречающиеся, так как озеро отделено от других водных бассейнов горными хребтами уже около 20 млн. лет.

*Экологическое видообразование* происходит в тех случаях, когда популяции одного вида остаются в пределах своего ареала, но условия обитания у них оказываются различными. Под влиянием движущих сил эволюции изменяется их генный состав. Через множество поколений эти изменения могут зайти так далеко, что особи разных популяций одного вида не будут скрещиваться между собой, возникнет биологическая изоляция, что характерно, как правило, для разных видов. Например, один вид традесканции сформировался на солнечных скалистых вершинах, а другой — в тенистых лесах. В пойме нижней Волги образовались виды житняка, костра, щетинника (мышья), которые дают семена до разлива реки или после него. Этим они обособлены от исходных видов, растущих на незаливаемых местах и осеменяющихся по преимуществу во время разлива.

В связи с разным количеством укусов и сроками их у полупаразитирующего растения погремка большого (сем. норичниковых) образовались новые подвиды. Сначала образовался подвид погремек большой летний, затем он разбился на два подвиды — погремек большой весенний раннеспелый и погремек

#### ВИДЫ В РОДЕ ЛЮТИКОВ



Лютик местнолистный



Лютик-прыщинец



Лютик золотистый



Лютик нассубийский



Лютик ядовитый

#### ВИДЫ В РОДЕ СИНИЦ



Синица большая



Лазоревна



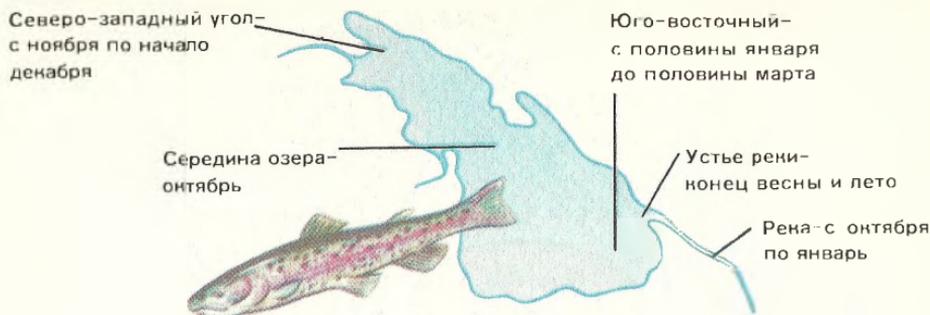
Хохлатая синица



Гайчича



Мосновна



11. Место и срок нереста у 5 форм форели в озере Севан.

большой летний позднеспелый. Естественным отбором, связанным с хозяйственной деятельностью человека, созданы подвиды, изолированные по срокам цветения. Некоторые ученые считают их видами.

Пять видов синиц образовались в связи с пищевой специализацией: синица большая питается крупными насекомыми в садах, парках; лазоревка добывает мелких насекомых в щелях коры, в почках; хохлатая синица питается семенами хвойных деревьев; гаичка и московка питаются преимущественно насекомыми в лесах разных типов **10**.

Популяции севанской форели **11** различаются по срокам нереста, местам и глубине нерестилищ (озеро, река).

Видообразование продолжается и в наше время. Вид черный дрозд в настоящее время распадается на две группы, еще не различимые внешне. Одна из них обитает в глухих лесах, другая держится близ жилья человека. Это можно считать началом образования двух подвидов. Популяции и подвиды иногда неразличимы.

На разных этапах микроэволюции один способ сменяет другой или они действуют совместно. Географическая изоляция может в дальнейшем присовокупить действие экологической, поэтому трудно установить границы каждого способа видообразования.

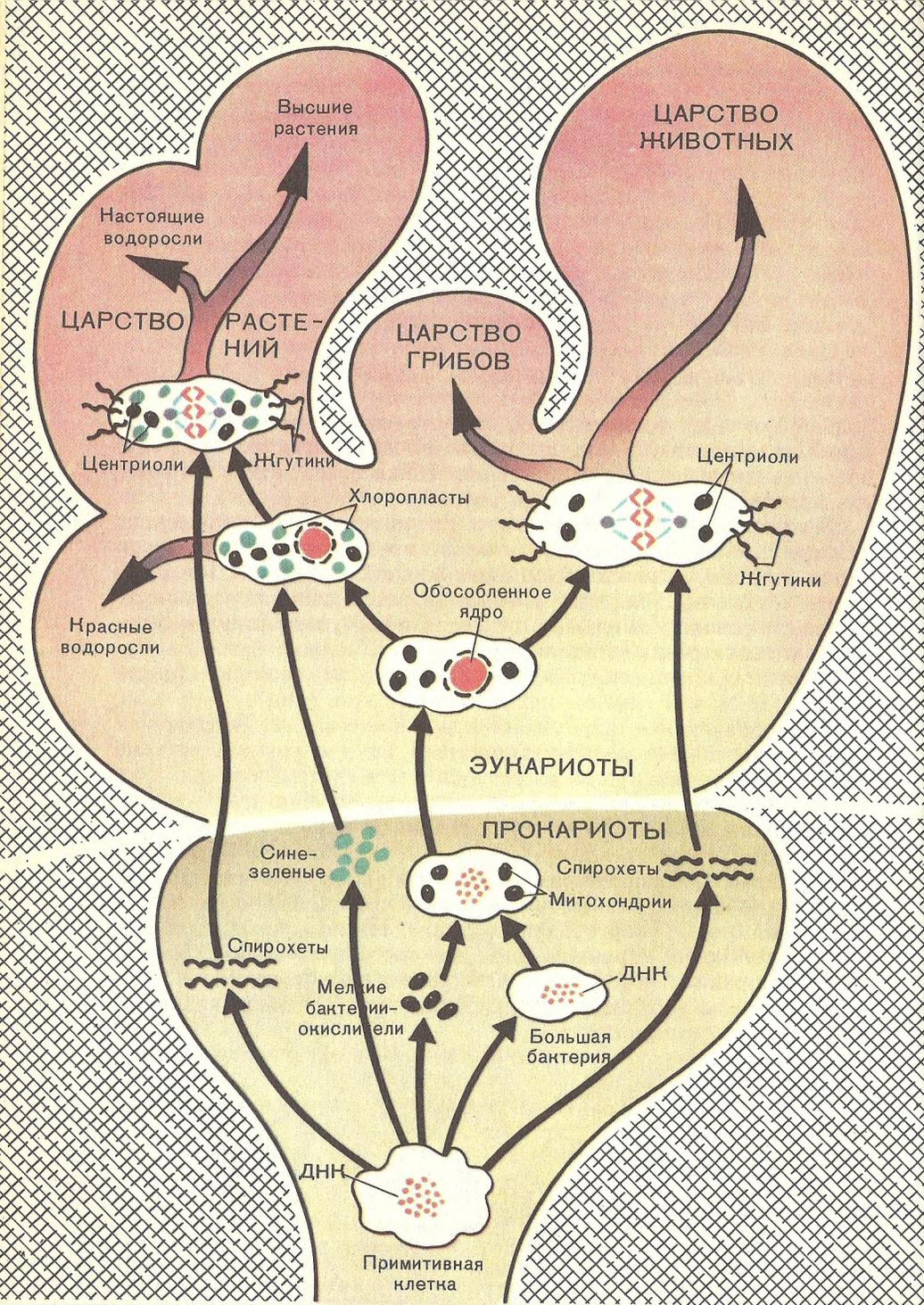
Образованием нового вида завершается микроэволюция.

**Результаты эволюции.** Эволюция имеет три тесно связанных важнейших следствия:

- 1) постепенное усложнение и повышение организации живых существ;
- 2) относительная приспособленность организмов к условиям внешней среды;
- 3) многообразии видов.

1. Что называют дивергенцией? Для ответа используйте рисунок 2. Какими чертами характеризуется микроэволюция? 3. Приведите примеры образования новых видов разными способами и поясните их. 4. Как объяснить одновременное сосуществование в природе низших и высших организмов? 5. Каковы результаты эволюции? Поясните примерами.





### 10. Макроэволюция, ее доказательства

**Макроэволюция.** Процесс образования из видов новых родов, из родов — новых семейств и т. п. называют *макроэволюцией*. Она происходит в исторически грандиозные промежутки времени и недоступна непосредственному изучению.

Макроэволюция — надвидовая эволюция, в отличие от микроэволюции, происходящей внутри вида, внутри его популяций. Однако принципиальных отличий между этими процессами нет, так как в основе макроэволюционных процессов лежат микроэволюционные. В макроэволюции действуют те же процессы — борьба за существование, естественный отбор и связанное с ними вымирание. Макроэволюция носит дивергентный характер, так же как и микроэволюция.

**Эмбриологические доказательства.** Из курсов биологии VII—VIII классов вы знаете об общем плане строения позвоночных, что свидетельствует о единстве их происхождения. Убедительные доказательства степени родства между организмами представляет эмбриология, изучающая зародышевое развитие организмов. Еще Ч. Дарвин отметил наличие взаимосвязей между индивидуальным развитием организмов (*онтогенезом*) и их эволюционным развитием (*филогенезом*). Эти связи были подробно изучены последующими исследователями.

**Сходство зародышей.** Подавляющее большинство организмов развиваются из оплодотворенного яйца. Проследим последовательные стадии развития зародышей рыбы, ящерицы, кролика, человека. Удивительное сходство зародышей касается формы тела, наличия хвоста, зачатков конечностей, жаберных карманов по бокам глотки. Во многом сходна на этих стадиях внутренняя организация зародышей. У всех сначала имеется хорда, а затем позвоночник из хрящевых позвонков, кровеносная система с одним кругом кровообращения (как у рыб, вспомните курс зоологии), одинаковое строение почек и др.

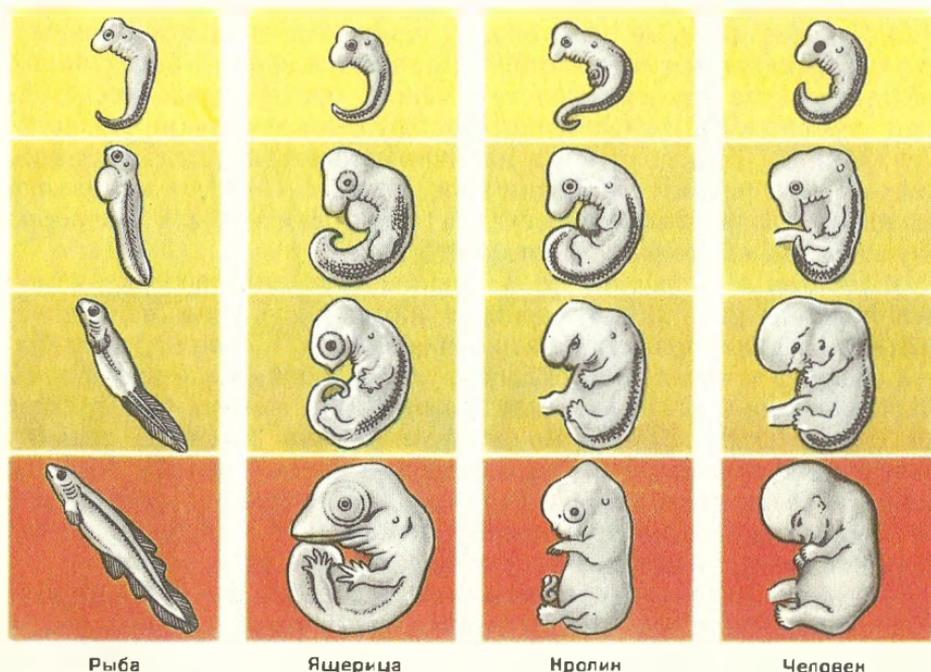
По мере развития сходство между зародышами ослабевает и начинают все более четко проявляться черты тех классов, к которым они принадлежат. У ящерицы, кролика и человека

зарастают жаберные карманы; у зародыша человека особенно сильно развивается головной отдел, включающий мозг, формируются пятипалые конечности, а у зародыша рыбы — плавники и т. п. По ходу эмбрионального развития последовательно происходит расхождение признаков зародышей, приобретающих черты, характеризующие класс, отряд, род и, наконец, вид, к которому они принадлежат.

Изложенные факты говорят о происхождении всех хордовых от одного ствола, который в ходе эволюции распался на множество ветвей.

**Биогенетический закон.** Основываясь на приведенных выше, а также множестве других факторов, во второй половине XIX в. немецкие ученые Ф. Мюллер и Э. Геккель установили закон соотношения онтогенеза, который получил название биогенетического закона. Согласно этому закону каждая особь в индивидуальном развитии (онтогенезе) повторяет историю развития своего вида (филогенез), или, короче, онтогенез есть краткое повторение филогенеза.

Приведем несколько примеров. У всех без исключения позвоночных животных в онтогенезе закладывается хорда — признак, который был свойствен их отдаленным предкам. У головастиков бесхвостых земноводных (лягушки, жабы) развивается хвост. Это — повторение признаков их хвостатых предков. Личинки



многих насекомых имеют червеобразную форму (гусеницы бабочек, личинки мух и т. д.). В этом следует усматривать повторение черт строения их червеобразных предков.

Биогенетический закон приложим и к растениям. Из споры мха развивается сначала ветвящаяся нить, похожая на нитчатую водоросль. Это говорит о родстве наземных растений с водорослями.

Биогенетический закон, выражающий глубокую связь между онтогенезом и филогенезом, имел большое значение для выяснения родственных связей между организмами.

**Палеонтологические доказательства.** Палеонтология изучает ископаемые остатки вымерших организмов и выявляет их сходство и различие с современными организмами.

По ископаемым остаткам палеонтологи восстанавливают внешний вид и строение вымерших организмов, узнают о растительном и животном мире прошлого.

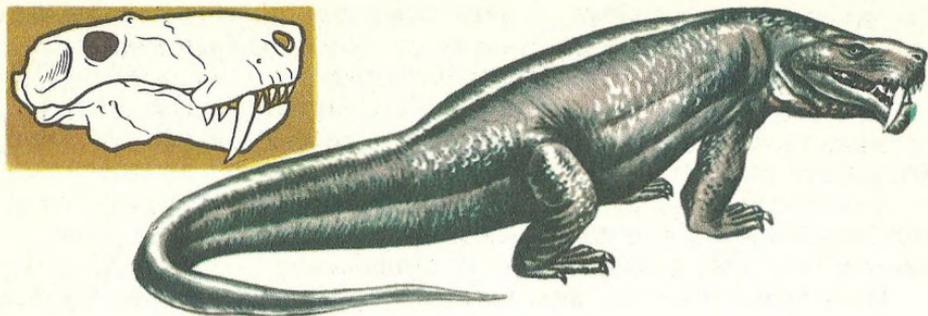
Сопоставление ископаемых остатков из земных пластов разных геологических эпох убедительно свидетельствует об изменении органического мира во времени. В самых древних пластах заключены остатки типов беспозвоночных, а в более поздних пластах — остатки типа хордовых. Позже на Земле появились позвоночные. В более молодых геологических пластах содержатся остатки животных и растений, относящихся к видам, похожим на современные.

Данные палеонтологии дают большой материал о преемственных связях между различными систематическими группами. В одних случаях удалось установить переходные формы, в других — филогенетические ряды, т. е. ряды видов, последовательно сменяющих один другой.

*Ископаемые переходные формы.* На берегах Северной Двины была найдена группа зверозубых рептилий [13]. Они совмещают признаки пресмыкающихся и млекопитающих. Такие организмы относят к переходным формам. Зверозубые рептилии имеют сходство с млекопитающими в строении черепа, позвоночника и конечностей, а также в делении зубов на клыки, резцы и коренные.

Большой интерес с эволюционной точки зрения представляет находка археоптерикса [14]. Это животное величиной с голубя имело признаки птицы, но сохраняло еще черты пресмыкающихся. Признаки птиц: сходство задних конечностей с цевкой, наличие перьев и общий вид. Признаки пресмыкающихся: длинный ряд хвостовых позвонков, брюшные ребра и наличие зубов. Археоптерикс не мог быть хорошим летуном, так как у него слабо развиты грудная кость (без кия), мышцы крыльев и грудные. Позвоночник и ребра не являлись жесткой костной системой, устойчивой при полете, как у современных птиц.

*Филогенетические ряды.* Палеонтологам удалось восстановить филогенетические ряды некоторых копытных, хищных, моллюсков и др. Примером может служить эволюция лошади [15].



### 13. Зверозубый ящер иностранцевия.

Наиболее древний ее предок ростом с лисицу, с четырехпальными передними конечностями, трехпальными задними и бугорчатыми зубами травоядного типа. Жил в местностях с теплым и влажным климатом, среди трав и кустарников, передвигался скачками.

К концу неогена растительность стала более сухой и грубой; в открытых степных пространствах спасение от врагов можно было найти в быстром беге, других средств защиты у этих животных не было.

Борьба за существование и естественный отбор проходили в направлении удлинения ног и сокращения поверхности опоры — уменьшения количества пальцев, достигающих почвы, упро-



### 14. Археоптерикс и его отпечаток на камне (слева).



### 15. Эволюция лошади.

чения позвоночника, что способствовало быстрому бегу. Изменение характера пищи повлияло на образование складчатых зубов. В результате произошла мощная перестройка организма этих животных.

Несмотря на огромную неполноту, палеонтологическая летопись, дополняемая данными сравнительной анатомии и эмбриологии, позволяет ясно представить общую картину развития жизни на Земле. По мере перехода от более древних земных слоев к новым наблюдается постепенное повышение организации животных и растений, постепенное приближение фаун и флор к современным.

1. Пользуясь рисунком 12, ответьте на вопрос, в чем выражаются сходство и различие зародышей позвоночных. 2. Какие доказательства эволюции представляет палеонтология? 3. Приведите примеры современных и ископаемых переходных форм. 4. Какое значение имеют ископаемые формы для изучения органического мира? 5. Какое значение имеют исследования филогенетических рядов? 6. Как объяснить такие факты: угорь обитает в реках, но для метания икры идет в море; лосось мечет икру в реках, хотя обитает в море?



## 11. Система растений и животных — отображение эволюции

Данные систематики используют для доказательства эволюции, так как они устанавливают родство между таксонами.

Эволюция жизни на Земле осуществляется микро- и макроэволюционными процессами в их единстве. Роль отдельных видов в эволюции выявляется исторически, в образовании высших систематических групп, получивших от них начало.

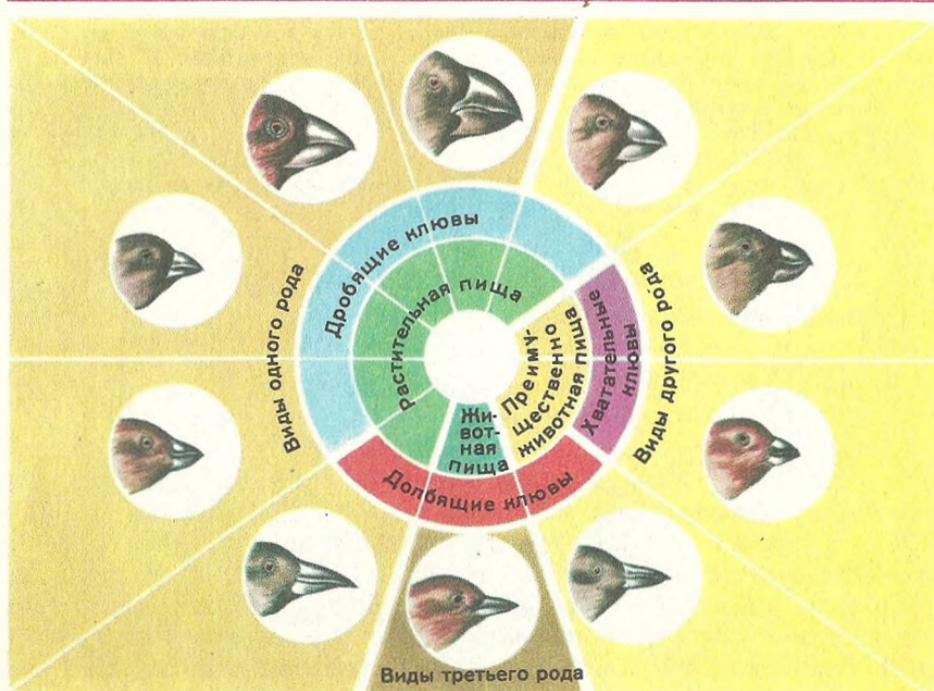
**Систематические группы.** В настоящее время организмы распределяют по группам, используя систематические категории: тип (отдел — для растений), класс, отряд (порядок — для растений), семейство, род, вид. Для обширных систематических групп добавляют промежуточные категории: подтипы, подклассы и др. Многочисленность систематических категорий вызывается чрез-

вычайным многообразием видов и стремлением ученых дать такую систему растительного и животного мира, которая отображала бы родственные связи между группами организмов.

Схема эволюции систематических групп **9** наглядно показывает образование из видов высших систематических групп. Она отображает постепенное расхождение видов, имеющих общих предков, и родство видов между собой.

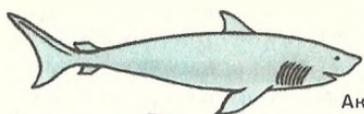
Каждая высшая систематическая группа, начиная от рода, объединяет группы, стоящие по рангу ниже и имеющие общего предка. Род объединяет виды, произошедшие от одного предка и оказавшиеся в результате борьбы за существование и естественного отбора способными существовать и успешно размножаться в различных географических и экологических условиях.

Признаки (критерии), на основании которых близкие виды объединяются в роды, хорошо видны на примере дарвиновских вьюрков (с. 14). На Галапагосских островах вьюрки представлены тремя родами: земляные, древесные и славковые. Земляные вьюрки гнездятся в засушливой зоне и кормятся большей частью на открытых местах; древесные гнездятся в засушливой зоне и питаются на деревьях; славковые занимают разные местообитания. Главный признак, по которому различают виды вьюрков, — строение клюва, тесно связанное с особенностями питания **16**. На цветках кактуса питается кактусовый земляной вьюрок, у

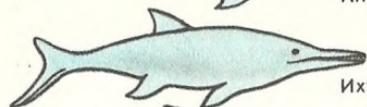


16. Вьюрки.

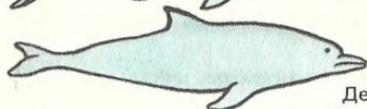
У ВОДНЫХ ПОЗВОНОЧНЫХ



Ангула



Ихтиозавр



Дельфин

У РОЮЩИХ МЛЕНОПИТАЮЩИХ



Сумчатый крот



Крот обыкновенный

## 17. Конвергенция.

которого длинный клюв и расщепленный язык. У большого земляного выюрка толстый массивный клюв, отлично справляющийся с крупными семенами. Дятловый древесный выюрок получил свое название за прямой, как у дятла, клюв, которым он долбит древесную кору, ползая вверх и вниз по стволу. Отсутствие длинного языка он восполняет кактусовой иглой или веточкой, удерживая ее в клюве и выковыривая насекомых из отверстия в коре, которое выдолбил. Все виды дарвиновских выюрков не скрещиваются; некоторые виды образуют подвиды — значит, видообразование продолжается. Все виды выюрков произошли от одного исходного вида.

Если условия существования и направление действия естественного отбора сходны у животных различных систематических групп, то в процессе макроэволюции они иногда приобретают сходные приспособления к среде обитания. Этот процесс получил название *схождения признаков (конвергенции)*. Например, передние роющие конечности крота и медведки очень сходны, хотя эти животные относятся к разным типам. Сильно напоминают друг друга по форме тела китообразные и рыбы, сходны конечности у плавающих животных, относящихся к разным классам. Сходными бывают и физиологические особенности. Накопление жира у ластоногих и китообразных — результат естественного отбора в условиях водной среды.

Схождение признаков в пределах далеких систематических групп (типов, классов) объясняется только действием сходных условий существования на течение естественного отбора 17. У сравнительно близкородственных животных влияет еще и единство их происхождения, которое как бы облегчает возникновение сходных наследственных изменений. Именно поэтому они наблюдаются чаще в пределах одного и того же класса.

**Принципы современной классификации.** Искусственная система строилась на немногих произвольно взятых признаках. (Вспомните классификацию растений Линнея.) Попытки создать естественную систему до Дарвина не могли быть успешными, так как натуралисты искали в ней отображение порядка, якобы установленного в природе творцом, а не родство видов.

В настоящее время при классификации организмов учитывают признаки родства видов как с ныне живущими, так и с вымершими. Признаки приспособленности разных видов могут быть весьма сходными, но оказаться результатом сходных условий существования, а не общего происхождения. Например, дельфин и акула внешне похожи, хотя по происхождению далеки друг от друга.

Определяя место животного или растения в системе, учитывают совокупность его признаков в различном возрасте.

В современной системе виды распределяют по группам на основе связей между ними по происхождению, что отображает сам ход эволюции. Взаимоотношения между основными группами современных организмов, сложившиеся в процессе эволюции, представляют подобие ветвей могучего дерева. Родословное древо в целом и его ветвление отчетливо выявляют общий характер макроэволюции: поднятие общей организации живых существ от менее сложных к более сложным, дивергентный и приспособительный ход эволюции. Современная система, в отличие от дарвиновской искусственной, показывает большую или меньшую степень родства видов, объединяемых в один род, родов — в одно семейство и т. д. Тем не менее она еще не совершенна, так как происхождение некоторых групп не выяснено.

В современной систематике широко используют данные о сходстве или различии хромосомного аппарата видов, что часто помогает выяснению родственных отношений между систематическими группами (с. 17).

-  1. По рисунку 9 разберите, как идет образование из видов, родов высших систематических групп. Отметьте виды, роды, более близкие и более далекие в родственном отношении. 2. Приведите примеры схождения признаков и объясните причины этого явления.

## 12. Главные направления эволюции органического мира

Развитие живой природы шло от низших форм к высшим, от простого к сложному и имело прогрессивный характер. Наряду с этим происходило приспособление видов к конкретным условиям жизни, осуществлялась их специализация. Например, строение и поведение дятла способствуют добыванию им насекомых из-под коры деревьев. Черепахи, змеи, кроты также имеют многочисленные приспособления к своеобразной жизненной обстановке.

Для понимания исторического развития органического мира важно определить главные линии эволюции. В разработку проблемы направлений эволюции значительный вклад внесли крупные советские ученые А. Н. Северцов, И. И. Шмальгаузен. Они установили, что главные направления эволюции составляют ароморфозы, идиоадаптации и дегенерации.

**Ароморфоз** представляет собой такие эволюционные изменения, которые ведут к *общему подъему организации, повышают интенсивность жизнедеятельности, но не являются узкими приспособлениями к резко ограниченным условиям существования.*

Ароморфоз дает значительные преимущества в борьбе за существование и делает возможным переход в новую среду обитания, способствует повышению выживаемости и снижению смертности в популяции. При высокой рождаемости и низкой смертности численность особей в популяции возрастает, расширяется ее ареал, образуются новые популяции, ускоряется формирование новых видов, т. е. происходит биологический прогресс. Так, усложнение строения древних земноводных по сравнению с рыбами способствовало вступлению земноводных на путь биологического прогресса.

**Идиоадаптация.** *Идиоадаптация представляет собой мелкие эволюционные изменения, которые способствуют приспособлению к определенным условиям среды обитания (частные приспособления).* В противоположность ароморфозу идиоадаптация не сопровождается изменениями основных черт организации, общим подъемом ее уровня и интенсивности жизнедеятельности организмов. Например, в засушливые и жаркие периоды у некоторых земноводных на основе наследственных изменений в процессе борьбы за существование и естественного отбора выработались частные приспособления к определенным и ограниченным местобитаниям — в болотах и топях. Никакого повышения уровня организации у земноводных при этом не произошло. Современные амфибии — лягушки, тритоны — хорошо приспособлены к условиям существования в мелких водоемах и сильно увлажненных местах суши.

Приспособления придонных рыб — камбаловых, скатов к жизни на дне (уплощение тела, окраска под цвет грунта) представляют собой типичные примеры идиоадаптации.

Защитная окраска дает хороший пример приспособления животных к определенным условиям существования, не связанного с повышением организации.

Примерами идиоадаптации у растений могут служить многообразные приспособления цветка к перекрестному опылению ветром и насекомыми, приспособления плодов и семян к рассеиванию, приспособления листьев к уменьшению испарения.

Обычно мелкие систематические группы — виды, роды, семейства — в процессе эволюции возникают путем идиоадаптации. Идиоадаптация также приводит к увеличению численности вида, расширению ареала, ускорению видообразования, т. е. к биологическому прогрессу.

**Общая дегенерация.** *Дегенерация представляет собой эволюционные изменения, которые ведут к упрощению организации.* Они обычно сопровождаются исчезновением ряда органов, потерявших свое биологическое значение.



18. Примеры идиоадаптации.

Дегенерация часто связана с переходом к сидячему или паразитическому образу жизни. Упрощение организации обычно сопровождается возникновением различных приспособлений к специфическим условиям жизни. У свиного цепня, лентеца широкого и других червей — паразитов человека — нет кишечника, слабо развита нервная система, почти отсутствует способность к самостоятельному передвижению. Наряду с упрощением организации эти животные обладают присосками и крючками, при помощи которых держатся на стенках кишечника своего хозяина. Они имеют также сильно развитые органы размножения и отличаются огромной плодовитостью, что обеспечивает сохранение вида и рост его численности.

Повилика, паразитирующая на клевере, хмеле и других растениях, лишена главного органа — листа, а вместо корней у нее образуются на стебле присоски, которыми она высасывает питательные вещества из растения-хозяина. Следовательно, общая дегенерация не исключает процветания вида. Многие группы паразитов, как мы это только что видели на примере ленточных червей, процветают, хотя организация их претерпевает значительное упрощение. Значит, и дегенерация может приводить к биологическому прогрессу.

Таким образом, биологический прогресс достигается тремя способами: ароморфозом, идиоадаптацией, дегенерацией.

Многие современные виды охвачены биологическим прогрессом. Еще сто лет назад граница распространения зайца-русака на севере доходила до линии Ленинград — Казань, а к востоку — до реки Урал. В настоящее время он распространился на севере до Средней Карелии и на востоке — до Омска. Сейчас известно около 20 его подвидов. Нематоды (круглые черви), среди которых много паразитов растений, животных и человека, заселяют в настоящее время всю почву, моря, океаны и пресные водоемы.

В природе, однако, наблюдается и биологический регресс. Он характеризуется чертами, противоположными биологическому прогрессу: уменьшением числа особей; сужением ареала; уменьшением числа видов, популяций. В итоге он часто ведет к вымиранию видов.



19. Схема соотношений между ароморфозом, идиоадаптацией и дегенерацией [по А. Н. Северцову].

Из многочисленных ветвей древнейших земноводных остались только те, которые повели к образованию современных классов земноводных и пресмыкающихся. Исчезли древние папоротникообразные и многие другие группы растений и животных.

С появлением человека причины биологического прогресса и биологического регресса часто связаны с изменениями, которые он вносит в ландшафты Земли, нарушая связи живых существ со средой, сложившиеся в процессе эволюции.

Деятельность человека является мощным фактором биологического прогресса одних видов, нередко вредных для него, и биологического регресса других, нужных и полезных ему. Вспомните появление многих видов насекомых, устойчивых к ядохимикатам, болезнетворных микробов, устойчивых против лекарств, бурное развитие сине-зеленых водорослей в сточных водах. Виной всему этому деятельность человека. При посевах и посадках он вторгается в живую природу, уничтожает на больших масштабах великое многообразие диких популяций, заменяя их немногими искусственными.

Усиленное истребление человеком многих видов ведет их к биологическому регрессу. Биологический регресс всегда грозит вымиранием. Вот почему мероприятиями по охране природы важно не только сдерживать, но и предупреждать его. В хозяйственной деятельности и в медицине человеку необходимо учитывать биологический прогресс и биологический регресс.

**Соотношение различных путей эволюции.** Пути эволюции крупных систематических групп (например, типов и классов) очень сложны. В процессе филогенеза происходила смена одного пути эволюции другим.

В эволюции различных групп живых организмов ароморфоз происходит значительно реже, чем идиоадаптация,— он знаменует новый этап в развитии органического мира.

Новые, более высокоорганизованные группы возникают путем ароморфоза и при этом часто переходят в новую среду обитания (например, выход животных на сушу). Далее эволюция продолжается уже путем идиоадаптации, иногда дегенерации

Каждый ароморфоз открывает новые возможности для идиоадаптации, которая обеспечивает более полное заселение среды благодаря захвату в ней различных местообитаний без повышения уровня организации.



1. Назовите основные направления эволюции. 2. Что представляет собой ароморфоз, идиоадаптация, дегенерация? 3. Какие направления эволюции ведут к биологическому прогрессу, биологическому регрессу? 4. Приведите примеры биологического прогресса и биологического регресса.

### 13. История развития жизни на Земле

Историю Земли и жизни на ней ученые разбивают на определенные промежутки времени — *эры*, которые подразделяют на *периоды*. Процесс развития жизни на Земле представлен в геохронологической таблице.

Результаты исследований, получаемые в различных областях биологической науки, дополняют друг друга. Они позволяют проследить, каким был органический мир в отдаленные эры и периоды, в каких направлениях происходило его развитие, пока он не приобрел современный вид (см. форзацы).

Наукой установлено, что жизнь возникла в океане около 3,5 млрд. лет назад **20**. Все первые этапы развития жизни протекали в водной стихии. Выход организмов на сушу осуществился примерно 2—2,5 млрд. лет назад. Этому способствовал важный ароморфоз у растений — образование органов и тканей, что имело решающее значение в эволюции растительного мира. (В геохронологической таблице найдите время выхода растений на сушу и их название.)

В условиях наземного существования растений дальнейшее развитие растительного мира было связано с другим крупным ароморфозом — переходом от размножения спорами к размножению семенами. (Найдите в таблице эру и период, а также названия растений, которые перешли к размножению семенами.) Голосеменные растения достигли значительного развития в конце палеозойской эры в пермском периоде. Господство голосеменных в наземной флоре относится к первой половине мезозойской эры, особенно к юрскому периоду. На смену голосеменным в результате новых ароморфозов приходят покрытосеменные растения. (Вспомните из раздела «Растения», к чему сводятся основные различия между голосеменными и покрытосеменными растениями, и назовите основные ароморфозы у покрытосеменных.) Покрытосеменные становятся господствующими на Земле, приспособленными к самым различным условиям существования.

Многочисленные ароморфозы отмечены и в эволюции животных. Многие из них были связаны с переходом к наземному существованию. Так, крупным ароморфозом при переходе на сушу явилось развитие внутреннего оплодотворения и ряд при-

способлений к развитию зародыша в яйце на суше. (Вспомните особенности размножения земноводных, пресмыкающихся. Найдите в таблице время их появления на Земле.)

Птицы и млекопитающие заняли господствующее положение среди наземных позвоночных. Постоянная температура тела позволила им выжить в условиях оледенения и проникнуть далеко в холодные страны. Успешному развитию обеих групп способствовали ароморфозы и идиоадаптации, которые позволили млекопитающим освоить наземную, а птицам — воздушную среду.

Особенно важными ароморфозами в эволюции позвоночных явилось преобразование головного мозга, прогрессивное развитие коры больших полушарий. Все это резко повысило уровень нервной деятельности, усложнило систему условных рефлексов и форм поведения животных в природе. От животных предков ароморфная эволюция привела к возникновению человека.

В антропогене животный мир принимает современный облик.

1. По геохронологической таблице проследите за изменениями растений и животных в процессе исторического развития.
2. Назовите ароморфозы, которые обусловили появление земноводных и пресмыкающихся.
3. Назовите ароморфозы, которые обусловили появление голосеменных и покрытосеменных.



20. Подводные «сады» в океане (пример идиоадаптации).

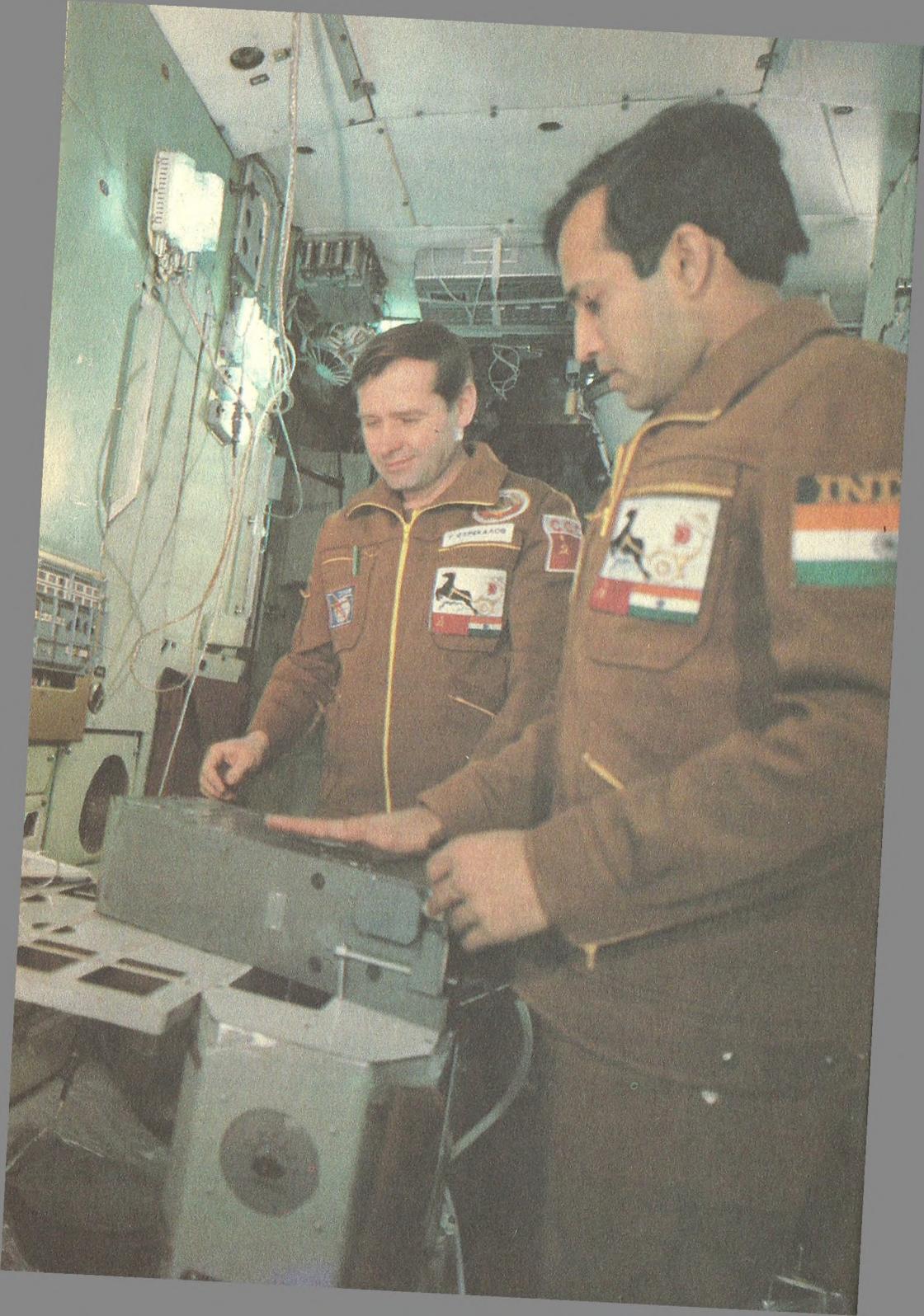
## Геохронологическая

Эры		Периоды и их продолжительность (в млн. лет)
название и продолжительность (в млн. лет)	возраст (в млн. лет)	
Кайнозойская (новой жизни), 67	67	Антропоген, 1,5
		Неоген, 23,5
		Палеоген, 42
Мезозойская (средней жизни), 163	230	Меловой, 70
		Юрский, 58
		Триасовый, 35
Палеозойская (древней жизни), 340	Возможно, 570	Пермский, 55
		Каменноугольный, 75—65
		Девонский, 60
		Силурийский, 30
		Ордовикский, 60 Кембрийский, 70
Протерозойская (ранней жизни), свыше 2000	2700	
Архейская (самая древняя в истории Земли), около 1000	Возможно, >3500	

таблица\*

Животный и растительный мир
Появление и развитие человека. Животный и растительный мир принял современный облик
Господство млекопитающих, птиц
Появление хвостатых лемуринов, долгопятов, позднее — парапитеков, дриопитеков. Бурный расцвет насекомых. Продолжается вымирание крупных пресмыкающихся. Исчезают многие группы головоногих моллюсков. Господство покрытосеменных растений
Появление высших млекопитающих и настоящих птиц, хотя и зубастые птицы еще распространены. Преобладают костистые рыбы. Сокращение папоротников и голосеменных. Появление и распространение покрытосеменных.
Господство пресмыкающихся. Появление археоптерикса. Процветание головоногих моллюсков. Господство голосеменных
Начало расцвета пресмыкающихся. Появление первых млекопитающих, настоящих костистых рыб
Быстрое развитие пресмыкающихся. Возникновение зверозубых пресмыкающихся. Вымирание трилобитов. Исчезновение каменноугольных лесов. Богатая флора голосеменных
Расцвет земноводных. Возникновение первых пресмыкающихся. Появление летающих форм насекомых, пауков, скорпионов. Заметное уменьшение трилобитов. Расцвет папоротникообразных. Появление семенных папоротников
Расцвет щитковых. Появление кистеперых рыб. Появление стегоцефалов. Распространение на суше высших споровых
Пышное развитие кораллов, трилобитов. Появление бесчелюстных позвоночных — щитковых. Выход растений на сушу — псилофиты. Широкое распространение водорослей
Процветают морские беспозвоночные. Широкое распространение трилобитов, водорослей
Органические остатки редки и малочисленны, но относятся ко всем типам беспозвоночных. Появление первичных хордовых — подтипа бесчерепных
Следы жизни незначительны.

\* Геологические эры и периоды указаны в таблице соответственно расположению земных пластов: позднейшие — наверху, древнейшие — внизу. Поэтому чтение таблицы начинайте снизу — с архейской эры — и последовательно переходите к более поздним эрам и периодам.



### 14. Доказательства происхождения человека от животных

**Развитие представлений о происхождении человека.** В начале XVII в. появилось первое сообщение путешественников о человекообразных обезьянах и о сходстве их с человеком. В своей системе животного мира К. Линней поместил человека в группу приматов, вместе с полуобезьянами и обезьянами. Ж. Б. Ламарк первым писал, что человек произошел от обезьяноподобных предков, перешедших от лазанья по деревьям к хождению по земле. Новый способ передвижения привел к выпрямлению тела, освобождению рук и изменению стопы. Стадный образ жизни способствовал развитию речи.

В книге «Происхождение человека» (1871) Ч. Дарвин убедительно доказал, что человек представляет последнее, высокоорганизованное звено в цепи развития живых существ и имеет общих далеких предков с человекообразными обезьянами. Он отметил и значение социальных факторов в эволюции человека. Эта проблема была раскрыта Ф. Энгельсом в работе «Роль труда в процессе превращения обезьяны в человека» (1896). В то время наука располагала относительно скудными данными об ископаемых предках человека. Позднее многочисленные находки остатков их костей и орудий труда блестяще подтвердили справедливость теории Энгельса.

**Общие черты строения человека и животных.** Человек относится к млекопитающим, так как имеет все признаки этого класса: внутриутробное развитие, диафрагму, млечные железы, зубы трех родов (коренные, клыки, резцы), три слуховые косточки в среднем ухе и ушные раковины, все системы органов человека сходны с системами органов млекопитающих.

У человека имеются рудименты (лат. — остаток) и атавизмы (лат. — отдаленный предок) — признаки, свойственные далеким предкам. Рассмотрим некоторые примеры . Копчик в скелете человека — рудимент: он состоит из четырех (реже пяти) недоразвитых, сросшихся между собой позвонков. Потерял свое



## 21. Рудименты у человека.

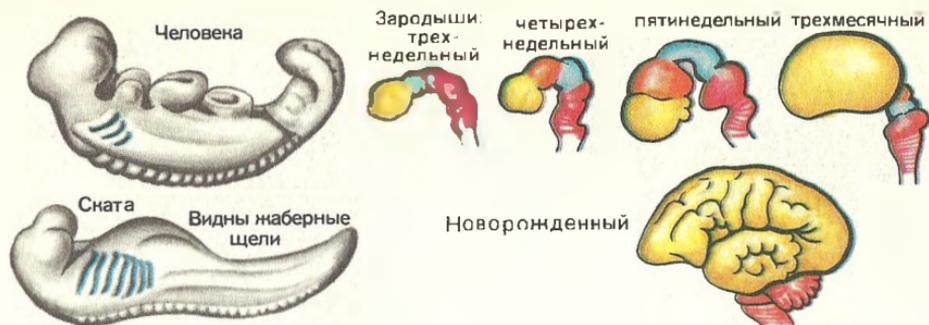


## 22. Атавизмы у человека.

первоначальное значение червеобразный отросток слепой кишки человека — аппендикс, который у многих млекопитающих принимает участие в переваривании пищи. Во внутреннем углу глаза сохранился рудимент третьего века, хорошо развитого у птиц, пресмыкающихся [21]. Всего у человека насчитывают свыше 90 рудиментов.

Бывают случаи рождения людей с атавизмами: с хвостом, густым волосяным покровом тела, дополнительными сосками [22]. Все эти факты можно объяснить только происхождением человека от животных.

**Сходство в развитии зародышей человека и животных.** Человек, как и животные, начинает свое развитие с оплодотворенного яйца. Оно дробится, образуются ткани и дают начало органам. По многим признакам человеческий зародыш похож на зародыши других позвоночных. У него закладываются жаберные щели, как у зародыша рыб [23], сердце представляет собой трубку с пульсирующими стенками; есть клоака, как у яйцекладущих. В возрасте 1,5—3 месяцев у человеческого зародыша заметно развит хвостовой отдел позвоночника. Мозг месячного человеческого зародыша состоит из пяти мозговых пузырей, напоминая мозг рыбы. Постепенно большие полушария надвигаются на другие отделы. На коре больших полушарий появ-



23. Трехнедельные зародыши человека (вверху) и скота (внизу).

24. Головной мозг человека.

ляются борозды и извилины **24**, увеличивающие поверхность мозга, и он наконец приобретает специфические черты строения, присущие человеку.

**Сходство и отличие человека и человекообразных обезьян.** По строению и физиологическим особенностям к человеку ближе других животных стоят человекообразные обезьяны: шимпанзе, гориллы, орангутаны и близкие к ним гиббоны **25**.

Человекообразные обезьяны во многом напоминают человека. Они выражают чувства радости, гнева, печали, нежно ласкают детенышей, заботятся о них, наказывают за непослушание. У них хорошая память, высокоразвитая высшая нервная деятельность.

Человекообразные обезьяны способны использовать находящиеся под рукой предметы как простейшие орудия. Они обладают только конкретным мышлением: воспринимают внешний мир через раздражения, действующие непосредственно на органы чувств. Обобщать, мыслить отвлеченно от самих предметов, т. е. понятиями о них, обезьяны почти не способны. (Вспомните из раздела «Животные» о человекообразных обезьянах.) Они могут ходить на задних конечностях, опираясь при этом на руки; на пальцах у них ногти, а не когти, имеется 12—13 пар ребер, 5—6 крестцовых позвонков, резцов, клыков и коренных зубов столько же, сколько у человека.

В скелете и внутренних органах человекообразных обезьян и человека наблюдается поразительное сходство. Строение уха, глаз, кожи человека очень сходно со строением этих органов у человекообразных обезьян. Красные кровяные клетки этих обезьян не разрушаются в человеческой крови, как это происходит с кровью низших обезьян; 4 группы крови, характерные для человека, найдены и у шимпанзе, гориллы и орангутана; есть общие паразиты (например, головная вошь), общие болезни (грипп, оспа, холера, брюшной тиф и др.); обнаружено поразительное сходство хромосомного аппарата. Все это доказывает несомненное родство человека и человекообразных обезьян.

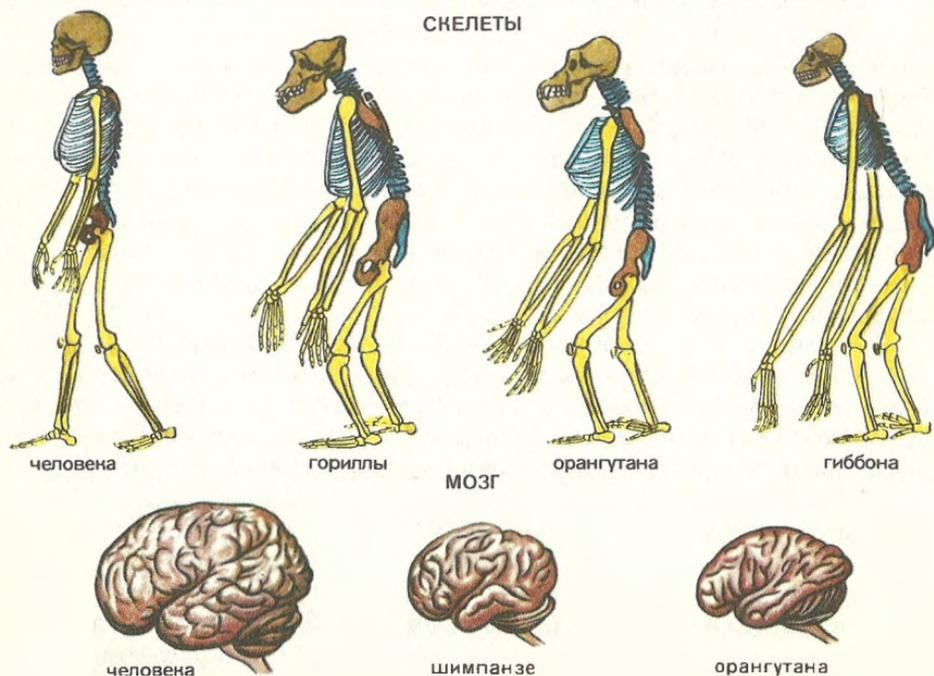
Человек ходит на двух ногах, его тело приспособлено к прямохождению. Отметим сходство и отличие в скелете обезьяны



## 25. Человекообразные обезьяны.

и человека **26**, сравнив мозговую и лицевую части черепа, позвоночник и его изгиб, грудную клетку, таз, руки, ноги, стопу.

Объем человеческого мозга около  $1400-1600 \text{ см}^3$ , а у человекообразной обезьяны —  $600 \text{ см}^3$ . Поверхность коры полушарий головного мозга у человека в среднем равна  $1250 \text{ см}^2$ , у человекообразной обезьяны она примерно в 3,5 раза меньше. У человека сильно развиты мозговые борозды и извилины, теменные, лобные и височные доли **26**, с которыми связаны главнейшие центры высшей нервной деятельности. Морфологические отличия человека от человекообразных обезьян выражены у зародышей и в раннем детском возрасте не так резко, как у взрослых.



## 26. Скелет и головной мозг человека и человекообразных обезьян.

Каждый из видов человекообразных обезьян ближе к человеку по одним признакам и дальше от него по другим. Горилла ближе к человеку по общим пропорциям тела, строению кисти, стопы, таза и некоторым другим особенностям. Шимпанзе больше, чем горилла, походит на человека по строению черепа, размерам конечностей. У орангутана 12 пар ребер, как и у человека. Гиббон напоминает человека строением черепа (сглаженной формой), плоской грудной клеткой и некоторыми другими признаками. Трудно сказать, какая обезьяна стоит к человеку ближе других; многие ученые полагают, что шимпанзе. Ни одна из современных обезьян не является прямым предком человека.

Между человеком и человекообразными обезьянами есть существенные качественные различия. Основу жизни человека составляет трудовая деятельность в коллективе, создание и применение орудий.

Человек живет в обществе и подчиняется общественным — социальным — законам. Он обладает сознанием и членораздельной речью, благодаря которой общается с людьми, передает и накапливает трудовой опыт. Человек способен мыслить отвлеченно, развивать науки и искусства. Развитие всех этих специфических человеческих качеств неразрывно связано с развитием человеческого общества.

1. Какие научные данные доказывают происхождение человека от животных? 2. Какие доказательства происхождения человека от животных Дарвин считал наиболее важными? Почему? 3. Укажите признаки сходства человека и человекообразных обезьян. 4. Укажите различия в строении человека и человекообразных обезьян. 5. В чем состоит различие высшей нервной деятельности человека и человекообразной обезьяны? Как объяснить это различие?



## 15. Движущие силы (факторы) антропогенеза

**Биологические факторы эволюции человека — антропогенеза.** Дарвин показал, что основные факторы эволюции органического мира, т. е. наследственная изменчивость, борьба за существование и естественный отбор, приложимы и к эволюции человека. Благодаря им организм древней человекообразной обезьяны претерпел ряд морфофизиологических изменений, в результате которых выработалась вертикальная походка, разделились функции рук и ног.

Для объяснения антропогенеза недостаточно одних биологических закономерностей. Качественное своеобразие его вскрыл Ф. Энгельс, указав на социальные факторы: труд, общественную жизнь, сознание и речь.

**Труд — важнейший фактор эволюции человека.** Труд начинается с изготовления орудий труда. Это, по словам Энгельса, «первое основное условие всей человеческой жизни, и притом в

такой степени, что мы в известном смысле должны сказать: труд создал самого человека». Основной движущей силой антропогенеза явился труд, в процессе которого человек сам создает орудия труда. Наиболее высокоорганизованные животные могут употреблять предметы в качестве готовых орудий, но не способны создать их.

Животные только пользуются дарами природы, человек же изменяет ее в процессе труда. Животные также изменяют природу, но не преднамеренно, а лишь потому, что находятся и живут в природе. Их воздействие на природу сравнительно с воздействием на нее человека ничтожно.

Морфологические и физиологические преобразования наших обезьяноподобных предков правильнее будет называть *антропоморфозами*, так как вызвавший их основной фактор — труд — был специфичен только для эволюции человека. Особенно важным было возникновение прямой походки. Размеры и масса тела обезьян увеличались, возник S-образный изгиб позвоночного столба, придавший ему гибкость, образовалась сводчатая пружинящая стопа, расширился таз, упрочился крестец, челюстной аппарат стал более легким и т. д. Прямохождение установилось не сразу. Это был весьма длительный процесс отбора наследственных изменений, полезных в трудовой деятельности. Предположительно он длился миллионы лет. Биологически прямохождение принесло человеку немало осложнений. Оно ограничило быстроту его передвижения, лишило подвижности крестец, что затруднило роды; длительное стояние и ношение тяжестей иногда приводит к плоскостопию и расширению вен на ногах. Зато благодаря прямохождению освободились руки для орудий труда.

Возникновение прямохождения, по мнению Ф. Энгельса и ранее Ч. Дарвина, стало решающим шагом на пути от обезьяны к человеку. Благодаря прямохождению у обезьяноподобных предков человека руки освободились от необходимости поддерживать тело при передвижении по земле и приобрели способность к разнообразным движениям.

В начале процесса формирования человека рука у него была слаборазвитой и могла производить лишь самые простые действия. Особи с наследственными изменениями верхних конечностей, полезными для трудовых операций, преимущественно сохранялись благодаря естественному отбору. Ф. Энгельс писал, что рука не только орган труда, но и продукт труда.

Различие между рукой человека и рукой человекообразных обезьян огромно: ни одна обезьяна не может изготовить своей рукой даже самый простой каменный нож. Понадобилось весьма длительное время, для того чтобы наши обезьяноподобные предки перешли от использования предметов окружающей природной среды в качестве орудий к их изготовлению.

Самые примитивные орудия труда облегчают зависимость

человека от окружающей природы, расширяют его кругозор, открывая в предметах природы новые, неизвестные свойства; наконец, они используются для дальнейшего совершенствования орудий труда.

Развитие трудовой деятельности приводит к ослаблению действия биологических закономерностей и усилению роли социальных факторов в антропогенезе.

**Общественный образ жизни как фактор эволюции человека.** С самого начала труд был общественным, так как обезьяны жили стадами. Ф. Энгельс указывал, что неправильно было бы искать предков человека, самого общественного существа в природе, среди необщественных животных.

Стадность обезьяньих предков человека развилась в общественность под действием особого фактора. Таким фактором был труд, тесно связанный с преобразованием руки в орган труда.

Труд способствовал сплочению членов общества; они коллективно защищались от зверей, охотились и воспитывали детей. Старшие члены общества обучали младших отыскивать природные материалы и изготовлять орудия, учили приемам охоты и сохранения огня. С развитием трудового процесса все яснее становилась польза взаимной поддержки и взаимопомощи.

Древнейшие орудия охоты и рыбной ловли свидетельствуют о том, что наши предки уже на ранних стадиях употребляли мясную пищу. Обработанная и приготовленная на огне, она уменьшала нагрузку на жевательный аппарат. Теменной гребень, к которому у обезьян прикрепляются мощные жевательные мышцы, потерял свое биологическое значение, сделался бесполезным и постепенно исчез в процессе естественного отбора; по этой же причине переход от растительной пищи к смешанной привел к укорочению кишечника. Применение огня помогало защищаться от холода и зверей.

Накапливаемый жизненный опыт в познании природы совершенствовался от поколения к поколению. При жизни обществом имелись большие возможности к общению друг с другом: совместная деятельность членов общества вызвала необходимость сигнализации жестами, звуками. Первые слова были связаны с трудовыми операциями и обозначали действие, работу, а названия предметов появились позднее. Неразвитая гортань и ротовой аппарат обезьян в результате наследственной изменчивости и естественного отбора преобразовались в органы членораздельной речи человека. Человек, как и животные, воспринимает сигналы из окружающего мира через непосредственное раздражение органов чувств — это *первая сигнальная система*. Но человек способен воспринимать сигналы словом — он обладает *второй сигнальной системой*. Она составляет качественное различие высшей нервной деятельности человека и животных.

Речь возникла на определенной ступени умственного развития

наших предков и повлияла на дальнейшее развитие мозга, на процесс мышления. Благодаря слову возможно отвлечение от реально существующих предметов и обобщение, т. е. абстрактное мышление, присущее только человеку. Слово — важнейшее средство общения между людьми, передачи опыта старших поколений последующим и воспитания человека.

Возникновение речи усилило общение наших предков на почве совместного трудового процесса и, в свою очередь, способствовало развитию общественных отношений. Эволюция наших предков происходила под совместным действием социальных и биологических факторов. *Естественный отбор постепенно утратил значение в эволюции человеческого общества.* Все усложнявшиеся трудовые процессы изготовления орудий труда и предметов быта, членораздельная речь и жесты, мимика содействовали развитию головного мозга и органов чувств.

Развитие головного мозга, мышления, сознания стимулировало в то же время совершенствование труда и речи. Все полнее и лучше осуществлялась преемственность трудового опыта в поколениях. Только в обществе мышление человека могло достигнуть столь высокого развития.

Если морфологические и физиологические особенности человека передаются по наследству, то способности к коллективной трудовой деятельности, мышлению и речи никогда не передавались по наследству и не передаются теперь. Эти специфические качества человека исторически возникли и совершенствовались под действием социальных факторов и развиваются у каждого человека в процессе его индивидуального развития только в обществе благодаря воспитанию и образованию. Известные случаи достаточно длительной изоляции ребенка с раннего возраста от человеческого общества показали, что при возвращении его в нормальные условия специфические человеческие качества развиваются у него очень плохо или совсем не развиваются. Это подтверждает то, что эти качества не наследуются. Каждое старшее взрослое поколение передает последующим опыт, знания, духовные ценности в процессе воспитания и образования.

Благодаря труду, сознанию, речи обезьяноподобные предки человека вступили на особый путь развития — человеческий — на основе новых законов, законов человеческого общества — социальных, раскрытых К. Марксом и Ф. Энгельсом. Люди вступали в новые социальные отношения между собой, труд их становился более многообразным. Они уже занимались не только сбором растений, охотой, рыбной ловлей, но и земледелием, разведением животных. Появились отрасли труда, связанные с изготовлением предметов быта: прядение, ткачество, гончарное дело, обработка металлов и т. п. Возникли торговля, искусство, религия, наука. Племена образовали нации и государства.

Итак, движущими силами антропогенеза являлись биологи-

*ческие факторы* (наследственная изменчивость, борьба за существование и естественный отбор) и *социальные факторы* (трудовая деятельность, общественный образ жизни, речь и мышление).

1. Каковы биологические движущие силы (факторы) эволюции человека и их роль на разных ее этапах? 2. Каковы социальные движущие силы (факторы) эволюции человека и их роль на различных ее этапах? 3. Может ли превратиться в человека современная человекообразная обезьяна? Почему? 4. Как вы понимаете слова Ф. Энгельса: «Рука, таким образом, является не только орудием труда, она также и продукт его?»



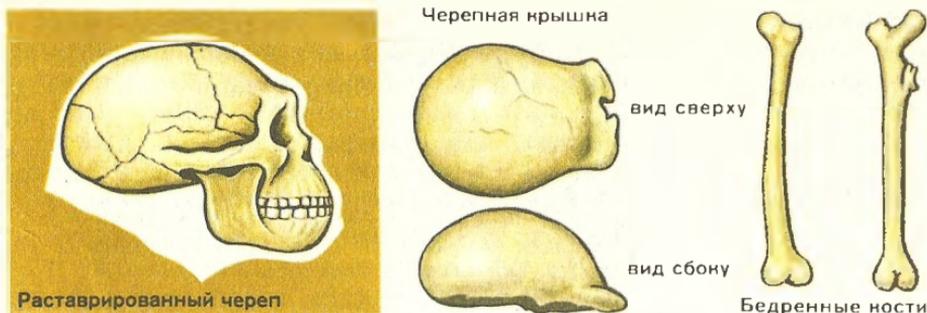
## 16. Эволюция человека. Древнейшие люди

**Общие предки человека и человекообразных обезьян.** Среди первых мелких млекопитающих — насекомоядных (с. 57) — в мезозойскую эру обособилась группа животных, которые не обладали ни острыми зубами и когтями, ни крыльями, ни копытами. Они жили и на земле, и на деревьях, питались плодами и насекомыми. От этой группы и взяли начало ветви, которые повели к полуобезьянам, обезьянам и человеку. Следовательно, *человек и человекообразные обезьяны состоят между собой в близком родстве. Это разные ветви общего родословного ствола.*

В связи с похолоданием климата в северных и южных широтах земного шара леса вытеснялись степями. В этих условиях эволюция одной группы древнейших человекообразных обезьян пошла по пути создания орудий труда, развития руки как органа труда, хождения на двух ногах, приспособления к наземному образу жизни. На земле в процессе освоения новой среды им пришлось вести жестокую борьбу за существование с другими животными, ранее заселившими эти пространства: у одних были мощные клыки и острые когти, другие быстро бегали, третьи отличались большой мышечной силой. Обезьяны не обладали этими качествами, но у них был значительно увеличен объем головного мозга по отношению к общим размерам тела. Еще в период жизни на деревьях обезьяны отличались развитой способностью к ориентировке в окружающих условиях, обладали отличным слухом и объемным зрением благодаря выдвинутым вперед и сближенным глазам. Руки были способны к выполнению многих функций: хватания, удерживания, бросания предметов; руками они цеплялись и придерживались за ветви, строили гнезда.

Различные формы наследственной изменчивости (с. 21) и отбор особей с полезными изменениями играли ведущую роль на этом этапе эволюции. Стадный образ жизни помогал в борьбе с сильными хищниками, в заботе о потомстве, в передаче опыта.

Наши отдаленные предки в течение огромного периода времени совершенствовались как наземные двуногие существа. Мно-



## 27. Части скелета петикантропа.

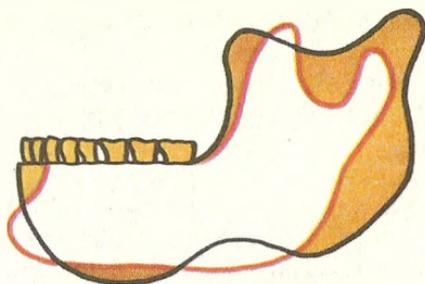
гие обезьяны погибали в борьбе за существование. В процессе естественного отбора из поколения в поколение отбирались и сохранялись полезные наследственные изменения.

В 30-х годах нашего века и позднее в Южной Африке были найдены остатки существа, названного *австралопитеком* (лат. «аустралис» — южный и греч. «питек» — обезьяна). По строению черепа, зубов и других частей скелета австралопитековые стояли значительно ближе к человеку, чем современные человекообразные обезьяны. У них были более крупная мозговая коробка, укороченная лицевая часть черепа и зубы, сходные с зубами современного человека. Самое замечательное, что строение их таза было подобно человеческому. Это были высоко развитые двуногие человекообразные обезьяны. При помощи верхних конечностей, свободных от функций опоры тела и передвижения, они получили возможность употреблять предметы природы в качестве орудий, а позднее и изготавливать их из гальки. Одновременно с австралопитековыми существовали другие формы, бесспорно признаваемые предками человека. Поэтому многие ученые полагали, что эта группа представляет тупиковую ветвь эволюции человека.

Открытия в Восточной Африке за последние 20 лет (1959—1980) показали, что австралопитековые жили свыше 5 млн. лет назад. Более поздние из них являются непосредственными предками человека и получили название *человека умелого*. Это очень важные открытия, так как они свидетельствуют о достаточности времени для эволюции наших далеких предков путем отбора в популяциях.

По мнению одних антропологов, человека умелого следует считать все еще австралопитеком. Другие ученые относят его к древнейшим людям. Морфологически он мало отличался от человекообразных обезьян. Отличие состояло в первых проблесках сознания, связанных не только с употреблением природных предметов в качестве орудий, но и с изготовлением примитивных режущих и рубящих орудий из гальки.

В процессе становления человека различают три стадии, или



28. Нижняя челюсть гейдельбергского человека. Для сравнения красным цветом обозначена челюсть современного человека.

фазы: древнейшие люди; древние люди; первые современные люди. Эти стадии не сменяли одна другую с полным исчезновением предыдущей, а сосуществовали, и далеко не в мирных отношениях. Популяции, принадлежавшие к видам более прогрессивным по материальной культуре, состоявшие по преимуществу из сильных и сообразительных особей, оттесняли другие популяции в худшие местообитания или уничтожали их физически. Разрыв между культурами разных популяций и видов рода людей, живших в одно и то же время, был огромным. Кроме направления, ведущего в конечном счете к человеку, были тупиковые боковые ответвления. Одновременно существовали и разные человекообразные обезьяны.

**Древнейшие люди.** Переход от ископаемых человекообразных обезьян к человеку совершился через ряд промежуточных форм, совмещавших черты обезьяны и человека, — обезьянолюдей.

*Питекантроп* — «обезьяночеловек» 27. Его остатки впервые были обнаружены на острове Ява. Позднее остатки питекантропа обнаружены в Африке, Азии и Европе — он широко распространился в Старом Свете, а отсюда уже по всем материкам. Питекантроп ходил на двух ногах, слегка наклоняясь вперед и, возможно, опираясь на дубину; имел рост около 170 см. Черепная коробка была у него такой же длины и ширины, как у современного человека, но более низкая и состояла из толстых костей. Объем мозга достигал 900—1100 см<sup>3</sup>. Лоб очень покатый, над глазами сплошной костный валик. Лобные и височные доли, связанные с речью, развиты лучше, чем у обезьяны, а развитие височных долей указывает также на хороший слух. Челюсти сильно выдавались вперед, подбородочного выступа не было.

Питекантропы делали из камня примитивные скребки, сверла, пользовались огнем и жили первобытным стадом. Жилищ у них еще не было.

Возникновение труда оказалось могучим толчком к развитию мозга. Дарвин придавал исключительное значение высокому умственному развитию наших предков, даже наиболее древних.

Развитие ума сделало большой шаг вперед с возникновением речи.

По мнению Ф. Энгельса, зачатки речи возникли у древнейших людей в виде нечленораздельных звуков, имевших значение различных сигналов.

Интересны находки *синантропа* — «китайского человека», жившего несколько позднее питекантропа. Его остатки найдены в 1927—1937 гг. в пещере недалеко от Пекина.

Внешне синантроп во многом напоминал питекантропа. Однако синантроп был более развитым. Объем его мозга достигал 850—1220 см<sup>3</sup>; левая доля мозга, где расположены двигательные центры правой стороны тела, была несколько больше по сравнению с правой долей. Следовательно, правая рука у синантропа была более развита, чем левая. Возможно, он добывал и умел поддерживать огонь, одевался, видимо, в шкуры. Были обнаружены мощный, до 6—7 м, слой золы, трубчатые кости и черепа крупных животных, орудия из камней, костей, рогов.

В 1907 г. близ города Гейдельберга (современная территория ФРГ) была найдена массивная нижняя челюсть, без подбородочного выступа, но с зубами, подобными зубам современного человека.

Питекантропа и синантропа считают двумя видами первого подрода — обезьянолюдей (род людей). Некоторые ученые относят сюда же и человека умелого (с. 68). Он является представителем первой, начальной стадии превращения обезьяны в человека. По выражению Ф. Энгельса, это «формировавшиеся» люди. Древнейшим людям был свойствен каннибализм.

На этой стадии развития человека формирование особенностей его физического склада, связанных с совершенствованием вертикальной походки, развитием мозга, находилось под контролем естественного отбора.



1. Какие черты характерны для древних человекообразных обезьян?
2. Почему австралопитековых многие ученые считают тупиковыми ветвями в эволюции человека?
3. Кого из предков человека и на каком основании относят к древнейшим людям?



## 17. Эволюция человека.

### Древние и первые современные люди

**Древние люди.** В самых нижних слоях пещерных отложений Европы, Азии и Африки были обнаружены целые костяки взрослых и детей *неандертальцев* (названы по имени места находки в 1856 г. — долины реки Неандер на современной территории ФРГ). В СССР остатки неандертальцев обнаружены на юге Узбекистана и в Крыму. Они жили около 150 тыс. лет назад, в ледниковую эпоху.



## 29. Реставрированный череп и каменные орудия неандертальца.

Большинство неандертальцев были ниже нас ростом (мужчины в среднем 155—158 см), ходили несколько согнувшись. У них был еще низкий скошенный лоб, сильно развитые надбровные дуги, нижняя челюсть без подбородочного выступа или со слабым развитием его. Объем мозга приближался к мозгу человека — около 1400 см<sup>3</sup> и более, но извилин мозга было меньше. Изогнутость позвоночника в поясничной области у них была меньше, чем у современного человека. Они жили в тяжелых условиях наступления ледников, в пещерах, где постоянно поддерживали огонь. Питались растительной и мясной пищей, но оставались еще каннибалами. Неандертальцы пользовались разнообразными каменными и костяными орудиями. Каменные орудия изготовляли из пластин. Один камень обрабатывали другим путем отжима. Вероятно, были деревянные орудия.

Судя по строению черепа и лицевых костей, видимо, при общении между собой неандертальцы пользовались жестами, нечленораздельными звуками и зачаточной членораздельной речью. Они жили группами по 50—100 человек. Мужчины коллективно охотились на зверей, женщины и дети собирали съедобные корни и плоды, старшие, более опытные, изготовляли орудия. Неандертальцы одевались в шкуры. Неандертальцев считают видом, относящимся ко второму подроду — древним людям (род людей). В суровых условиях ледниковых эпох естественный отбор способствовал выживанию более выносливых, ловких, смелых особей. Большую роль в эволюции играли социальные факторы: трудовая деятельность в коллективе, совместная борьба за жизнь и развитие интеллекта. Последние неандертальцы (около 28 тыс. лет назад) жили среди первых современных людей.

**Первые современные люди.** Известно большое количество находок скелетов, черепов и орудий первых современных людей — *кроманьонцев* (найлены в местечке Кроманьон, на юге Франции), сформировавшихся 30—40 тыс. лет назад. Остатки кроманьонца обнаружены и в СССР (к югу от Воронежа, на правом берегу Дона). Найлены они также в Африке, Азии и Австралии.



30. Реставрированный череп и орудия труда кроманьонца.

Кроманьонцы ростом были до 180 см, с высоким прямым лбом и черепной коробкой объемом до 1600 см<sup>3</sup>, сплошной надглазничный валик отсутствовал. Развитый подбородочный выступ указывал на хорошее развитие членораздельной речи [30]. Кроманьонцы жили в построенных ими жилищах. В пещерах на стенах обнаружены рисунки, на которых изображены эпизоды охоты, пляски, люди. Рисунки сделаны охрой и другими минеральными красками или нацарапаны. Кроманьонцы одевались в одежды из шкур, сшитые костяными и кремневыми иглами. Техника изготовления орудий труда и предметов быта много совершеннее, чем у неандертальцев. Орудия из рога, кости, кремня украшены резьбой. Человек умел шлифовать, сверлить, знал гончарное дело [30]. Он приручал животных и делал первые шаги в земледелии. Кроманьонцы жили родовым обществом, у них зарождались зачатки религии. Кроманьонцы и современные люди образуют вид *Homo sapiens* — человек разумный, относящийся к третьему подроду — новым людям (род людей). В эволюции кроманьонцев ведущую роль играли социальные факторы.

Кроманьонцы перешли от преимущественно биологической эволюции предшественников к эволюции социальной. В их развитии особую роль стали играть воспитание, обучение, передача опыта. Популяции новых людей в борьбе за существование одерживали верх над всеми другими популяциями не только ловкостью и сообразительностью. Оберегая свое потомство — свое будущее — и стариков — живых носителей накопленного опыта (знание способов охоты, выделки орудий, традиций, обычаев), человек обретает способность жертвовать собой во имя популяции, племени, семьи.

Поднявшись от животного мира, наши предки в результате сложного и длительного процесса становления человека превратились в людей современного вида. Ведущими и определяющими стали общественно-трудовые отношения как основа организованного общества. Законы общественной жизни играют направляющую роль в социальном прогрессе человечества. В этом каче-

ственное своеобразие эволюции человека по сравнению с эволюцией животных.

Индивидуальные наследственные изменения — мутации — и теперь имеют место у человека, но на основе развивающегося знания и социального переустройства он учится управлять биологическими законами, предупреждать проявление вредных признаков и усиливать проявление полезных.

1. Докажите, что родословная человека подтверждает роль труда как главного, ведущего фактора антропогенеза. 2. Почему в процессе превращения обезьяны в человека естественный отбор постепенно утрачивал значение фактора эволюции? 3. Отметьте черты человека у питекантропов, у неандертальцев. 4. Чем отличались древние люди от древнейших? 5. В чем отличие кроманьонцев от неандертальцев? 6. Сравните остатки материальной культуры древнейших и древних людей и сделайте выводы о роли труда и общественной жизни в эволюции наших предков.



## 18. Человеческие расы. Критика расизма и социального дарвинизма

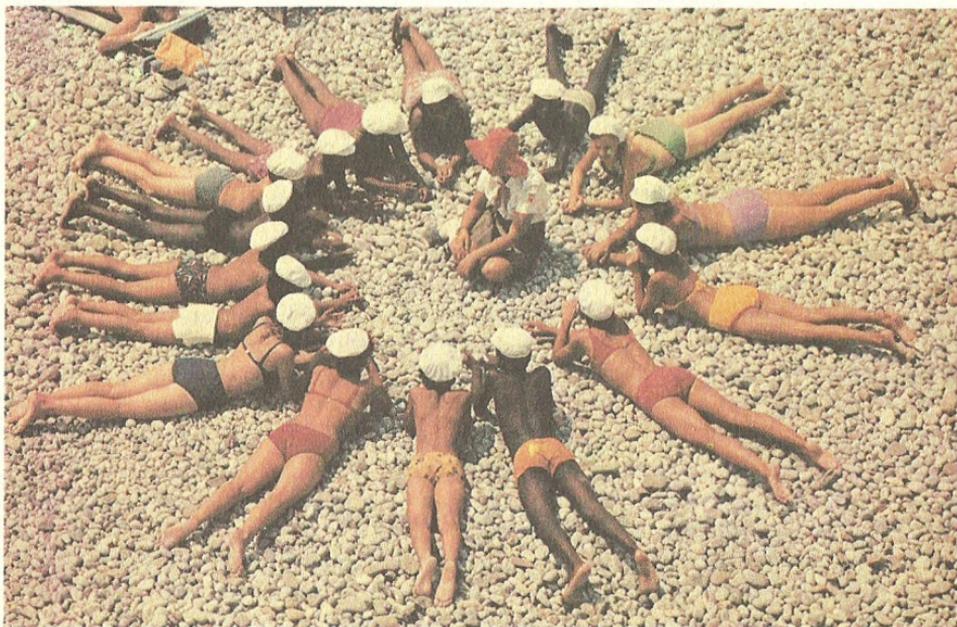
На эволюцию всего человечества огромное влияние оказывал труд, общественный образ жизни и характер труда. Когда под влиянием движущих сил эволюции у предков человека сформировались прямохождение, членораздельная речь, рука как орган труда, тогда изменение физического склада сильно замедлилось и свелось к небольшим изменениям второстепенных признаков. В настоящее время на Земле обитает один вид человека. На принадлежность всех людей к одному виду указывают единство строения их черепа, мозга, стопы, наличие одних и тех же групп крови, легкая скрещиваемость и плодовитость потомства.

До недавнего времени человечество делили на три большие расы: австрало-негроидную (экваториальную), европеоидную (евразийскую), монголоидную (азиатско-американскую). Однако многие ученые делят австрало-негроидную расу на две — австралоидную и негроидную. Таким образом выделяют четыре расы. Каждая из них делится на малые расы (более 30). Существуют, кроме того, смешанные расы, которые сформировались в зонах контактов больших рас **31, 32.**

Различия между расами заключаются в морфологических особенностях: в цвете кожи, волос, глаз, форме носа, губ и т. п. Такие различия появились когда-то у людей в популяциях, живших в разнообразных природных условиях. Например, темная пигментация кожи могла возникнуть как защитное приспособление организма против ярких лучей солнца; в курчавых волосах создаются воздушные прослойки, защищающие от жары. Светлая кожа европеоидов пропускает ультрафиолетовые лучи и этим предохраняет от рахита, узкий выступающий нос согревает вдыхаемый воздух.



31. Представители всех рас. Встреча в Москве в дни XII Всемирного фестиваля молодежи и студентов.



32. Дети разных народов (в Артеке).

хаемый воздух. Никаких существенных различий в умственных способностях, мышлении, речи между представителями разных рас нет, все расы биологически равноценны.

Народы разных рас стоят на различных уровнях развития культуры в силу ряда общественно-экономических факторов.

С развитием социальных отношений обособленность человеческих рас и морфологические отличия между ними уменьшаются в результате смешанных браков.

Наука о расах — расоведение — изучает происхождение рас, родственные отношения между ними, характерные признаки и условия среды, к которой исторически приурочена та или иная раса. Полученные материалы важны для решения проблемы происхождения человека. Некоторые ученые проповедают реакционное учение — расизм. Сущность его состоит в утверждении, что человеческие расы якобы неравноценны: одни — высшие, другие — низшие. Расисты считают, что причина экономической и культурной отсталости некоторых народов заключается в их «расовой биологической неполноценности».

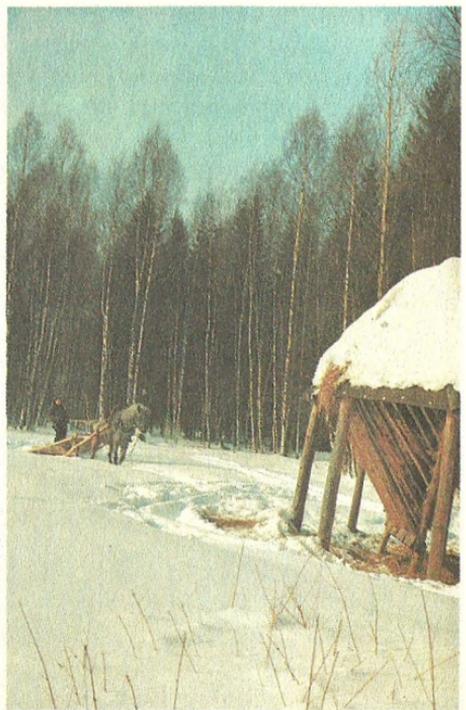
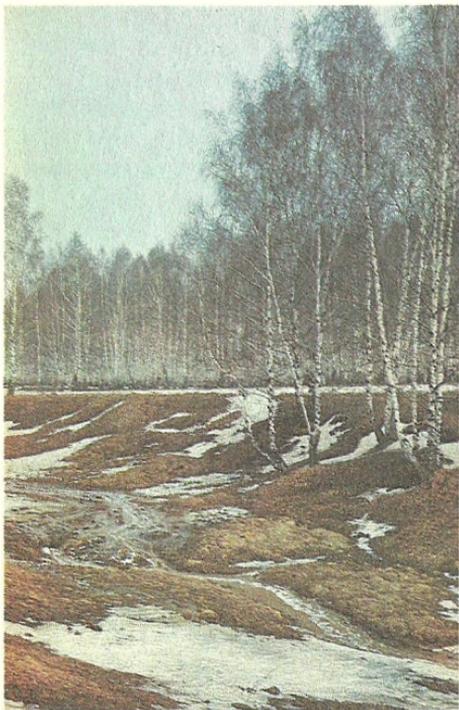
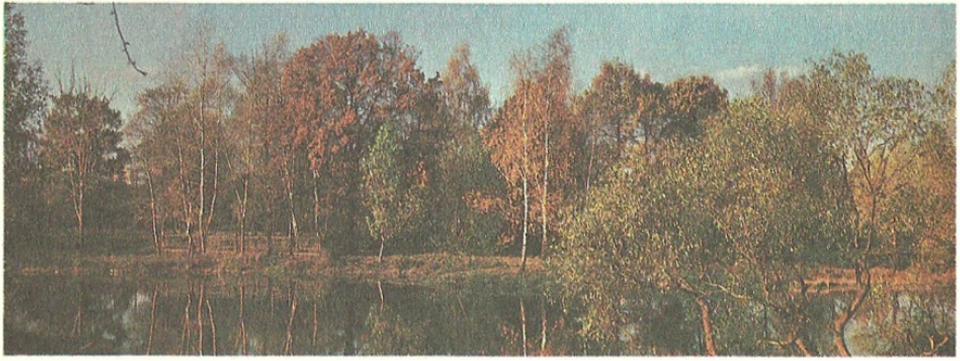
Расисты расценивают расовые различия как видовые и даже родовые. Они не признают единства происхождения рас и утверждают, что каждая раса происходит от своего предка и не связана родством с другими. Среди представителей любой расы можно встретить расистов, стремящихся доказать, что именно их раса стоит выше других.

К расистским теориям примыкает социальный дарвинизм, антинаучная реакционная теория о действии законов борьбы за существование и естественного отбора в человеческом обществе, подобно тому как они действуют во всей живой природе.

Социал-дарвинисты считают, что современное общество предоставляет все возможности для естественного отбора биологически более ценных людей. С их точки зрения, социальное неравенство и деление общества на классы — следствия биологического неравенства людей, подвергающихся контролю естественного отбора. Нетрудно видеть, что эта ложная теория ничего общего не имеет с дарвинизмом.

1. Какие можно привести доказательства принадлежности всех человеческих рас к одному виду? 2. Что такое «расовая теория» и в чем ее реакционная сущность? 3. В чем идеологическая сущность социального дарвинизма и кому он служит? 4. Приведите факты проявления расизма и социал-дарвинизма, известные вам из сообщений газет, радио- и телевизионных передач.





### 19. Задачи экологии. Экологические факторы и их взаимодействие.

#### Математическое моделирование

**Задачи экологии.** Окружающая нас живая природа — это не беспорядочное и случайное сочетание живых существ, а устойчивая и организованная система, сложившаяся в процессе эволюции органического мира. Каждый вид занимает в этой системе определенное место. Изучением живых организмов как отдельных особей, так и членов популяций и сообществ в их взаимодействии со средой обитания занимается *экология*.

В задачи экологии входит изучение взаимоотношений организмов и их популяций с окружающей средой, исследование действия среды на строение, жизнедеятельность и поведение организма, установление зависимости между средой и численностью популяций. Экология исследует отношения между популяциями разных видов в сообществе, между популяциями и факторами внешней среды, их влияние на расселение видов, на развитие и смену сообществ. Изучение борьбы за существование в популяциях и направлений естественного отбора также входит в задачу экологии. Экология неразрывно связана с эволюционным учением, особенно с проблемами микроэволюции, так как она изучает процессы, протекающие в популяциях.

Большое значение имеет экология для развития различных отраслей народного хозяйства. Наиболее важные области применения экологических знаний — это охрана природы, сельское хозяйство, некоторые отрасли промышленности (например, создание безотходных технологий). Экология служит основной теоретической базой для развития различных отраслей народного хозяйства.

**Экологические факторы.** В понятие природной среды входят все условия живой и неживой природы, в которых существуют организм, популяция, природное сообщество. Природная среда прямо или косвенно влияет на их состояние и свойства. Компоненты природной среды, влияющие на состояние и свойства организма, популяции, природного сообщества, называют *эколо-*

*гическими факторами.* Среди них различают три разные по своей природе группы факторов:

*абиотические факторы* — все компоненты неживой природы, среди которых наиболее важны свет, температура, влажность и другие компоненты климата, а также состав водной, воздушной и почвенной среды;

*биотические факторы* — взаимодействия между различными особями в популяциях, между популяциями в природных сообществах;

*антропогенный фактор* — вся разнообразная деятельность человека, которая приводит к изменению природы как среды обитания всех живых организмов или непосредственно сказывается на их жизни.

Разные экологические факторы, такие, как температура, влажность, пища, действуют на каждую особь. В ответ на это у организмов через естественный отбор вырабатываются различные приспособления к ним. Интенсивность факторов, наиболее благоприятную для жизнедеятельности, называют оптимальной или оптимумом.

Оптимальное значение того или иного фактора для каждого вида различно. В зависимости от отношения к тому или иному фактору виды могут быть тепло- и холодолюбивые (слон и белый медведь), влаго- и сухолюбивые (липа и саксаул), приспособленные к высокой или низкой солености воды и т. д.

**Действие факторов на организм. Ограничивающий фактор.** Оптимум и пределы выносливости организма по отношению к одному из факторов среды зависят от уровня других факторов. Например, при оптимальной температуре повышается выносливость к неблагоприятной влажности и недостатку пищи. С другой стороны, обилие пищи увеличивает устойчивость организма к изменениям климатических условий. Однако такая взаимная компенсация всегда ограничена, и ни один из необходимых для жизни факторов не может быть заменен другим.

Способность вида к воспроизводству особей, к конкуренции с другими будет ограничиваться тем из факторов, который сильнее всего отклоняется от оптимальной для вида величины. Если количественное значение хотя бы одного из факторов выходит за пределы выносливости, то существование вида становится невозможным, как бы ни были благоприятны остальные условия. Такие факторы, выходящие за границы максимума или минимума, называют *ограничивающими*. Например, распространение многих животных и растений к северу обычно ограничивает недостаток тепла, тогда как на юге ограничивающим фактором для тех же видов может оказаться недостаток влаги или необходимой пищи.

**Прогнозирование и моделирование.** Для исследования взаимоотношений в экосистемах (природных сообществах) используют разнообразные методы: эксперимент, длительное наблюдение в

природе, определение числа особей в популяциях, наблюдения за миграцией животных и др.

Для более полного и глубокого познания живой природы широко используют также моделирование (создание искусственных экологических систем). При этом применяют математическую обработку данных (математическое моделирование). Методы моделирования, если они правильно отображают протекающие в природе процессы, позволяют прогнозировать, в каких направлениях далее будет развиваться данная экосистема, что имеет для многих биогеоценозов (лес, луг, болото, озеро) важное практическое значение. При математической обработке полученных данных расчет производят на ЭВМ.

В основе моделирования и экологического прогнозирования лежит принцип разделения сложных экосистем на отдельные более простые компоненты (подсистемы), которые связаны друг с другом различной сложности функциональными связями. Например, в водной системе могут быть выделены рыбы, фитопланктон, зоопланктон, придонные животные и растения (бентос) и др.

При исследованиях водных экосистем в качестве моделей часто применяют аквариумы, в которые вводят различные компоненты из естественных экосистем и изучают формы взаимоотношений между ними.

Методы моделирования экосистемы в настоящее время все шире применяются в экологии. Они открывают широкие перспективы прогнозирования процессов, протекающих в экосистемах, и выяснения действия на биосферу загрязняющих ее антропогенных факторов.

1. Раскройте основные задачи экологии.
2. Какие экологические факторы вам известны?
3. Какую интенсивность факторов называют оптимальной?
4. Что такое ограничивающий фактор? Приведите примеры ограничивающего фактора, характерного для местных условий.



## 20. Основные абиотические факторы среды и их значение для живой природы

Для жизни наземных растений и животных наибольшее значение имеют такие компоненты среды, как свет, температура, влажность. Важная особенность этих факторов заключается в их закономерном изменении как в течение года и суток, так и в связи с географической зональностью. Поэтому и приспособления к ним имеют зональный и сезонный характер.

**Свет.** Солнечное излучение служит основным источником энергии для всех процессов, происходящих на Земле.

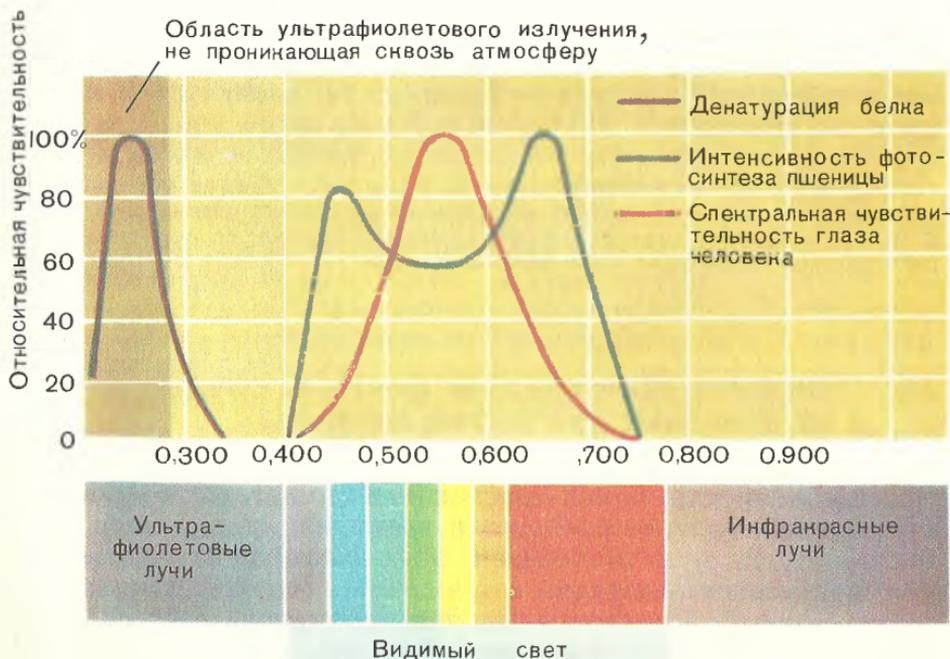
В спектре солнечного излучения выделяются три области, раз-

личные по биологическому действию: ультрафиолетовая, видимая и инфракрасная **33**.

*Ультрафиолетовые лучи* с длиной волны менее 0,290 мкм губительны для всего живого. Жизнь на Земле возможна лишь потому, что это коротковолновое излучение задерживается озоновым слоем атмосферы. До поверхности Земли доходит лишь небольшая часть более длинных ультрафиолетовых лучей (0,300 — 0,400 мкм). Они обладают высокой химической активностью и в большой дозе могут повреждать живые клетки. В небольших дозах ультрафиолетовые лучи необходимы человеку и животным.

*Видимые лучи* с длиной волны от 0,400 до 0,750 мкм, на долю которых приходится большая часть энергии солнечного излучения, достигающего земной поверхности, имеют особенно большое значение для организмов. Зеленые растения синтезируют органическое вещество, следовательно, и пищу для всех остальных организмов за счет энергии именно этой части спектра. Для некоторых животных и бесхлорофилльных растений свет не является обязательным условием существования, и многие почвенные, пещерные и глубоководные виды приспособлены к жизни в темноте.

*Инфракрасные лучи* с длиной волны более 0,750 мкм не вос-



принимаются глазом человека, но они являются важным источником внутренней энергии. Ими особенно богат прямой солнечный свет.

Световые условия в природе имеют отчетливую суточную и сезонную периодичность, которая обусловлена вращением Земли. В связи с суточным ритмом освещения у животных возникли приспособления к дневному и ночному образу жизни.

**Температура.** Все химические процессы, протекающие в организме, зависят от температуры — внешней и внутренней. Особенно ясно зависимость от внешней температуры выражена у организмов, неспособных поддерживать постоянную температуру тела, т. е. у всех растений и большинства животных, кроме птиц и млекопитающих.

Подавляющее большинство наземных растений и животных в состоянии активной жизнедеятельности не переносит отрицательной температуры и погибает.

Верхний температурный предел жизни неодинаков для разных видов, но редко бывает выше 40—45°C. Только немногие виды приспособлены к жизни при более высокой температуре.

Оптимальная температура зависит от условий обитания вида, к которым он приспособился на основе естественного отбора в течение предшествующей эволюции.

У организмов с непостоянной температурой тела повышение температуры окружающей среды вызывает ускорение физиологических процессов: обмена веществ, роста, развития и др. Поэтому до известного предела чем выше температура, тем короче время, необходимое для развития отдельных стадий или всего жизненного цикла.

У птиц и млекопитающих в процессе эволюции выработалась способность к терморегуляции — поддержанию постоянной температуры своего тела. Это важное приспособление обеспечило известную независимость высших животных от термических условий среды — способность к активной жизни при разной температуре. У большинства птиц температура тела несколько выше 40° С, а у млекопитающих — несколько ниже. Она сохраняется на постоянном уровне независимо от колебаний температуры окружающей среды.

**Влажность.** Вода играет исключительно важную роль в жизнедеятельности клетки и организма в целом. Поддержание количества воды на достаточном уровне составляет одну из основных физиологических функций любого организма.

Роль влажности как экологического фактора для наземных организмов обусловлена тем, что осадки (а соответственно влажность воздуха и почвы) распределяются на земной поверхности в течение года очень неравномерно. Так как большинство наземных животных и растений влаголюбивы, то недостаток влажности часто оказывается причиной, ограничивающей их жизнедеятельность и распространение.

У организмов в процессе эволюции сформировались различные приспособления к добыванию и экономному расходованию влаги (вспомните растения и животных пустыни и полупустыни, засушливых степей), к переживанию засушливого времени года в состоянии покоя и др. Так, многолетние растения пустыни имеют сильно развитые корни, иногда очень длинные (например, у верблюжьей колючки до 16 м), достигающие влажного слоя, или чрезвычайно разветвленные.

Большинство животных пустыни может обходиться без воды; источником влаги для грызунов, пресмыкающихся, насекомых и других мелких животных служит пища. У некоторых животных вода образуется в организме в результате окислительных реакций. Поэтому характерные для многих обитателей пустыни обильные жировые отложения служат своеобразным резервом воды в организме, например горб у верблюда, подкожные отложения жира у грызунов. Защитой от испарения воды у животных служит малая проницаемость наружных покровов тела.

Иной тип приспособления к недостатку влаги наблюдается у многих растений и животных, обитающих в условиях периодической сухости. У них возникает состояние покоя, которое характеризуется остановкой роста и развития, резко сниженным обменом. Некоторые грызуны и черепахи с наступлением жаркого и сухого периода в пустыне, когда выгорает растительность, впадают в летнюю спячку.

Состояние летнего покоя у многолетних растений часто сопровождается сбрасыванием листьев или полным отмиранием наземных частей, что имеет место у многих растений пустынь.



1. Какое значение имеют свет, влажность и температура природной среды для организма? 2. В чем выражаются биологические воздействия ультрафиолетовых, видимых и инфракрасных лучей на организм?

## **21. Приспособление организмов к сезонным изменениям в природе.**

### **Фотопериодизм**

Сезонная периодичность относится к числу наиболее общих явлений в живой природе. Она особенно ярко выражена в умеренных и северных широтах. В основе внешне простых и хорошо знакомых нам сезонных явлений в мире организмов лежат сложные приспособительные реакции ритмического характера, которые выяснены сравнительно недавно.

**Сезонность в природе.** В качестве примера рассмотрим сезонную периодичность в центральных районах нашей стра-

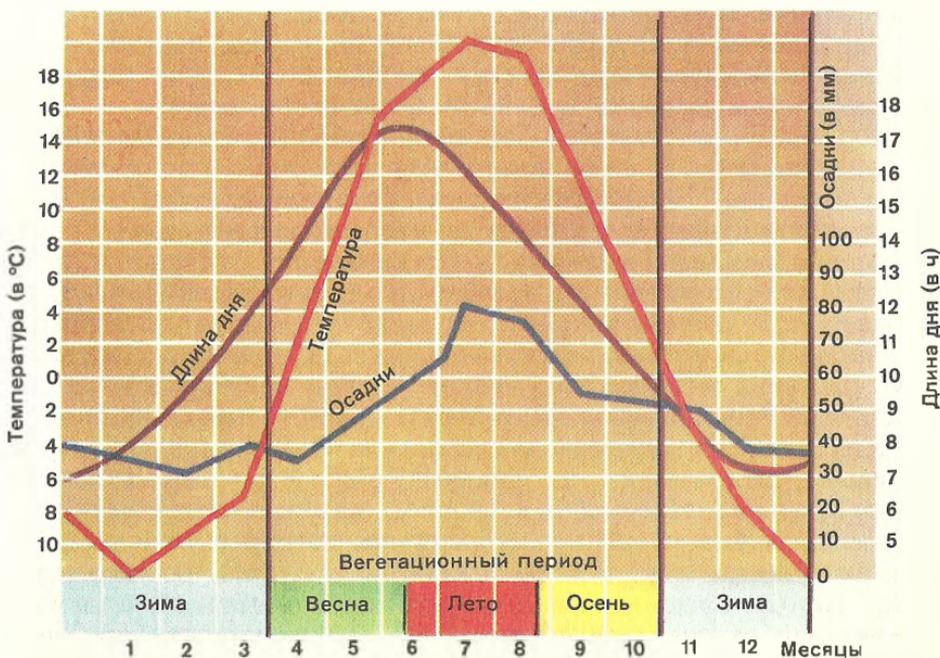
ны **34**. Здесь ведущее значение для растений и животных имеет годовой ход температуры. Период, благоприятный для жизни, продолжается около шести месяцев.

Признаки весны появляются, как только начинает сходить снег. Еще не распустив листья, зацветают некоторые ивы, ольха, лещина; на проталинах даже сквозь снег пробиваются ростки первых весенних растений; прилетают перелетные птицы; появляются перезимовавшие насекомые.

В середине лета, несмотря на благоприятную температуру и обилие осадков, рост многих растений замедляется или полностью прекращается. Уменьшается количество цветущих растений. Заканчивается размножение птиц. Вторая половина лета и ранняя осень — период созревания плодов и семян у большинства растений и накопления питательных веществ в их тканях. В это время уже заметны признаки подготовки к зиме. У птиц и млекопитающих начинается осенняя линька, перелетные птицы сбиваются в стаи.

Еще до прихода устойчивых морозов в природе наступает период зимнего покоя.

**Состояние зимнего покоя.** Зимний покой не просто остановка развития, вызванная низкой температурой, а очень сложное физиологическое приспособление. У каждого вида состояние зим-



34. Сезонные изменения длины дня, температуры и количества осадков в окрестностях Москвы.

него покоя наступает лишь на определенной стадии развития. Так, у растений (в зависимости от вида) зимуют семена, надземные и подземные части с покоящимися почками, а у некоторых травянистых растений — прикорневые листья. На разных стадиях развития наступает зимний покой у насекомых. Малярийный комар и бабочки-крапивницы зимуют в стадии взрослого насекомого, бабочки-капустницы — в стадии куколки, непарный шелкопряд — в стадии яйца.

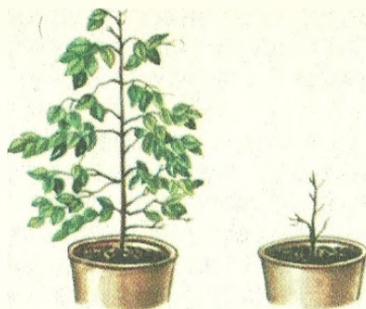
Зимующие стадии растений и животных имеют много сходных физиологических особенностей. Значительно снижена интенсивность обмена. Ткани организмов, находящихся в состоянии зимнего покоя, содержат много запасных питательных веществ, особенно жиров и углеводов, за счет которых поддерживаются сниженные процессы обмена в течение зимовки. Обычно уменьшается количество воды в тканях, особенно в семенах, зимних почках растений. Благодаря всем этим особенностям покоящиеся стадии способны длительно переживать суровые условия зимовки.

**Причины биологических ритмов. Фотопериодизм.** У каждого вида в процессе эволюции выработался характерный годичный цикл интенсивного роста и развития, размножения, подготовки к зиме и зимовки. Это явление получило название *биологического ритма*. Совпадение каждого периода жизненного цикла с соответствующим временем года имеет решающее значение для существования вида.

Наиболее заметна связь всех физиологических явлений у организма с сезонным ходом температуры. Но хотя она влияет на скорость жизненных процессов, все же не служит главным регулятором сезонных явлений в природе. Биологические процессы подготовки к зиме начинаются еще летом, когда температура высока. Насекомые при высокой температуре все-таки впадают в зимующее состояние, у птиц наступает линька и появляется стремление к перелету. Следовательно, какие-то другие условия, а не температура влияют на сезонное состояние организма.

Главным фактором регуляции сезонных циклов у большинства растений и животных является изменение продолжительности дня. Реакция организмов на продолжительность дня получила название *фотопериодизма*. Значение фотопериодизма видно из опыта, показанного на рисунке 35. При искусственном круглосуточном освещении или продолжительности дня более 15 ч сеянцы березы растут непрерывно, не сбрасывая листьев. Но при освещении в течение 10 или 12 ч в сутки рост сеянцев даже летом прекращается, вскоре происходит сбрасывание листьев и наступает зимний покой, как под влиянием короткого осеннего дня. Многие наши листопадные древесные породы: ива, белая акация, дуб, граб, бук — при длинном дне становятся вечнозелеными.

При непрерывном освещении не впадают в состояние поноя и не сбрасывают листьев



При коротком дне рост прекращается, и сеянцы сбрасывают листья

### 35. Влияние длины дня на рост сеянца березы.

Продолжительность дня определяет не только наступление зимнего покоя, но и другие сезонные явления у растений. Так, длинный день способствует образованию цветков у большинства наших дикорастущих растений. Такие растения называют длиннодневными. Из культурных к ним относятся рожь, овес, большинство сортов пшеницы и ячменя, лен. Однако некоторые растения, преимущественно южного происхождения, например хризантемы, георгины, для цветения нуждаются в коротком дне. Поэтому они зацветают у нас лишь в конце лета или осенью. Растения такого типа называют короткодневными.

Сильно сказывается влияние длины дня и на животных. У насекомых и клещей длина дня обуславливает наступление зимнего покоя. Так, при содержании гусениц бабочки-капустницы в условиях длинного дня (более 15 ч) из куколок вскоре выходят бабочки и без перерыва развивается последовательный ряд поколений. Но если гусениц содержать при дне короче 14 ч, то даже весной и летом получают зимующие куколки, которые не развиваются в течение нескольких месяцев, несмотря на достаточно высокую температуру. Подобный тип реакции объясняет, почему в природе летом, пока день длинный, у насекомых может развиваться несколько поколений, а осенью развитие всегда останавливается на зимующей стадии.

У большинства птиц весенний, удлиняющийся день вызывает развитие половых желез и проявление гнездовых инстинктов. Осеннее сокращение дня вызывает линьку, накопление запасных жиров и стремление к перелету.

Длина дня является сигнальным фактором, определяющим направление биологических процессов. Почему именно сезонные изменения длины дня приобрели такое большое значение в жизни живых организмов?

Изменение длины дня всегда тесно связано с годовым ходом температуры. Поэтому длина дня служит точным астрономическим предвестником сезонных изменений температуры и других условий. Это объясняет, почему у самых разных групп орга-

низмов умеренных широт под влиянием движущих сил эволюции сформировались специальные фотопериодические реакции — приспособления к климатическим изменениям в различное время года.

Фотопериодизм — это общее важное приспособление, регулирующее сезонные явления у самых разных организмов.

**«Биологические часы».** Изучение фотопериодизма растений и животных показало, что реакция организмов на свет основана на чередовании в течение суток периодов света и темноты определенной длительности. Реакция организмов на продолжительность дня и ночи показывает, что они способны измерять время, т. е. обладают какими-то «биологическими часами». Эту способность имеют все виды живых существ, от одноклеточных до человека.

«Биологические часы», кроме сезонных циклов, управляют многими другими биологическими явлениями, природа которых еще недавно оставалась загадочной. Они определяют правильный суточный ритм как активности целых организмов, так и процессов, происходящих даже на уровне клеток, в частности клеточных делений.

**Управление сезонным развитием животных и растений.** Выяснение роли длины дня и регуляции сезонных явлений открывает большие возможности для управления развитием организмов.

Различные приемы управления развитием используют при круглогодичном выращивании на искусственном свете овощных культур и декоративных растений, при зимней и ранней выгонке цветов, для ускоренного получения рассады. Предпосевной обработкой семян холодом достигают колошения озимых культур при весеннем посеве, а также цветения и плодоношения уже в первый год многих двулетних растений. Увеличивая длину дня, удается повысить яйценоскость птиц на птицефермах.



1. В чем выражаются приспособления к перенесению зимних условий у растений и животных? 2. Как меняется обмен веществ у зимующих растений и животных? 3. Приведите примеры фотопериодизма у растений и животных. 4. Каковы причины биологических ритмов? 5. Что вы знаете о «биологических часах» и какие проявления их вы замечали?



## 22. Вид и популяция — их экологическая характеристика

**Вид — экологическая единица.** Виды различаются между собой целым рядом признаков: размером, окраской особей, протекающими у них физиологическими процессами, средой обитания, поведением и др. Вспомните критерии и определение вида (с. 16).

В процессе эволюции у каждого вида сформировались приспособления к определенной среде обитания. Например, арктические птицы и млекопитающие имеют белую окраску, приспособлены к жизни в условиях низких температур. Обитатели пустыни имеют желто-серую окраску и разнообразные приспособления к высоким температурам, к недостатку влаги. Подобные приспособления присущи всем особям вида, хотя и могут несколько различаться в пределах большого ареала.

Виды часто занимают большой ареал, в пределах которого особи распределены неравномерно, группами — популяциями. Каждая популяция живет в определенных условиях. Благодаря этому вид, состоящий из ряда популяций, занимает большой ареал, несмотря на разнообразие условий в его пределах. Однако любой вид, состоящий как из одной, так и из нескольких популяций, представляет собой единое целое.

Целостность вида обусловлена связями между его особями. Вспомните, какие связи существуют между самцами и самками, между родителями и потомством, между особями в стаде, стае и семье. Все это разнообразие связей обеспечивает существование вида как целостной системы. У особей каждого вида в процессе эволюции выработались взаимные приспособления: у ряда животных родители заботятся о потомстве, особи общаются между собой через различные сигналы, вместе защищаются от врагов и т. д. Эта целостность вида достигается также и его обособленностью от других видов. Как вы знаете, особи разных видов различаются по числу и форме хромосом. Это является причиной их морфологических и физиологических различий, вследствие чего особи не могут скрещиваться между собой.

Особи разных видов живут в различных условиях, им присущи разные признаки, особенности размножения (разные места и периоды размножения, различия в поведении животных). Например, береза бородавчатая и береза карликовая — два вида одного рода. Эти виды различаются по морфологическим, экологическим и другим признакам. Береза бородавчатая более высокая, растет в лесу и на открытых пространствах, а береза карликовая низкорослая и обитает на моховых болотах. Иногда особи разных видов скрещиваются, но межвидовые гибриды оказываются нежизнеспособными или бесплодными.

Видовые приспособления иногда приводят к гибели отдельных особей, но они полезны виду в целом. Так, некоторые виды птиц часть птенцов выбрасывают из гнезд, когда им становится там тесно. Выброшенные птенцы чаще всего погибают, но при этом выживают оставшиеся птенцы, наиболее крепкие и жизнеспособные. Следовательно, данное приспособление идет на пользу виду в целом.

**Экологическая характеристика популяции.** Популяцию рассматривают в качестве структурной единицы вида и единицы эволюции (с. 18).

Каждая популяция характеризуется определенной численностью особей, ее изменениями, занимаемым пространством, возрастным и половым составом особей.

Территория, занимаемая разными популяциями одного вида, а тем более различных видов, очень колеблется и зависит от степени подвижности особей. Так, одна популяция ящерицы прыткой занимает от 0,1 до нескольких гектаров; полевки водяной — от 1 до нескольких десятков гектаров; северного оленя — более 100 км<sup>2</sup>.

Число особей (или численность) в популяции различна у разных видов, но она не может быть ниже некоторых пределов. Сокращение численности за эти пределы может привести к вымиранию популяции. Численность популяций может резко меняться по сезонам и годам. Известно массовое размножение в некоторые годы леммингов (мелкие грызуны), саранчи, болезнетворных бактерий, божьих коровок. У видов животных и растений с большей продолжительностью жизни и относительно малой плодовитостью численность популяций более устойчивая. Численность популяций насекомых и мелких растений на открытых пространствах нередко выражается в сотнях тысяч и миллионах особей. В популяциях ящерицы прыткой она колеблется от сотен до нескольких тысяч особей.

Полагают, что при численности популяции меньше нескольких сотен особей случайные причины (пожар, наводнение, изменение погоды) могут сократить ее настолько, что рождаемость перестанет покрывать убыль. На протяжении нескольких поколений оставшиеся особи вымрут.

Популяция состоит из разных по полу и возрасту особей. Соотношение половозрелых и неполовозрелых особей в популяциях различно и зависит от продолжительности жизни, времени наступления половой зрелости, интенсивности размножения. Соотношение полов, т. е. число мужских и женских особей, в популяции изменяется.

Таким образом, популяции представляют собой форму существования вида, обеспечивающую приспособленность его к конкретным условиям среды.

**Управление численностью популяций.** Для рационального использования видов человек должен знать состав особей популяции по возрасту и полу, их плодовитость и смертность, причины колебания численности. В целях сохранения видов используют различные способы регулирования численности популяции. Например, правильное ведение охотничьего хозяйства (установление сроков и угодий охоты, лицензий) обеспечивает воспроизводство популяций. Охрана и упорядочение промысла сибирского соболя, бывшего на грани исчезновения, привели к увеличению его численности. При поголовном промысле 2—4-летних самцов морского котика прекратился рост популяций, так как убыль взрослых самцов не покрывалась размножением особей.

Самцов этого возраста стали оставлять в качестве резерва, чтобы они образовали новые лежбища, дали начало новым популяциям, а для промысла использовали самцов 3—4-месячного возраста. В результате упорядочения промысла морского котика численность его популяций восстановилась.

Запрещена охота на птиц некоторых видов: на краснозобую и белошекую казарок, горного гуся, все виды лебедей и журавлей. В результате охраны и упорядочения охоты спасены от истребления сайгаки, лоси, бобры, зубры.

1. Чем обусловлена целостность вида? 2. Дайте экологическую характеристику популяции. 3. Какие мероприятия используются для сохранения численности популяций?



## 23. Проблемы рационального использования видов и сохранения их многообразия

**Влияние деятельности человека на многообразие видов.** Деятельность человека часто сопровождается сокращением численности популяций многих видов. Это происходит в результате чрезмерного истребления особей, ухудшения условий жизни, вследствие загрязнения окружающей среды, беспокойства животных, особенно в период размножения, а также сокращения ареала и др.

К 1900 г. на Земле совершенно исчезли 65 видов млекопитающих и 140 видов птиц. В настоящее время около 600 видов позвоночных находятся на грани полного истребления (некоторые киты, носороги, черепахи, журавли, дрофа и многие другие); полностью вымерла морская корова. Из 250 тыс. видов высших растений Земли около 1/10 находится в угрожаемом положении. Редкими стали сибирский кедр, европейский и дальневосточный тисы, кавказское железное дерево.

Деятельность человека создает условия, способствующие появлению и развитию новых форм организмов, часто вредных. Достаточно вспомнить сорные растения, сельскохозяйственных вредителей, возбудителей различных болезней. Загрязнение водоемов сточными водами, содержащими отходы промышленности, ядохимикаты, различные моющие средства, вызывает гибель высших организмов и бурное развитие сине-зеленых водорослей и некоторых микробов, делающих воду совершенно непригодной для жизни.

**Охрана видов.** Необходимость сохранения видов растений и животных побудила к составлению сводок редких и исчезающих видов сначала в отдельных государствах, потом в мировом масштабе. С 1948 г. работу государственных, научных и общественных организаций объединяет и направляет Международный союз охраны природы и природных ресурсов — МСОП.

Созданная при нем Комиссия по редким и исчезающим видам издает «Красную книгу» фактов и составляет «черный список» безвозвратно исчезнувших видов.

«Красная книга» фактов регистрирует виды: *исчезающие* — спасение их возможно только при специальных мерах охраны; *редкие* — малая численность и ограниченный ареал могут привести к их исчезновению; *сокращающиеся* — численность неуклонно падает; *неопределенные* — состояние популяций мало изучено. МСОП разработал международное соглашение об ограничении торговли животными и растениями названных четырех категорий видов.

Советские ученые деятельно участвуют в работе МСОП и Международной комиссии по редким и исчезающим видам, пополняют их списки видами и подвидами, обитающими на территории СССР. Создана «Красная книга СССР».

Виды, внесенные в «Красную книгу», взяты под особую охрану.

В нашей стране вопросам охраны видов и бережного отношения к ним уделяется значительное внимание. Уже с 1919 и 1922 гг. специальными декретами и постановлениями были взяты под охрану дикий осел-кулан, джейран, белый медведь, тигр, барс, бобр, зубр, выхухоль, большая белая цапля, фламинго, гага, все лебеди и многие другие виды. В настоящее время полностью запрещена охота на 18 видов млекопитающих и 29 видов охотничьих птиц. Бобра, выдру, куницу, сибирского соболя, морского котика, например, добывают только по лицензиям. Последовательное проведение подобных мер остановило падение численности популяций многих видов и способствовало их росту. Однако численность некоторых видов продолжает сокращаться (бухарский олень, кулан, леопард, выхухоль) в связи с изменениями их местобитаний, происходящими в результате хозяйственной деятельности человека.

Охране видов служат *заповедники* — территории, где не допускается влияние человека на течение природных процессов. Здесь разрабатываются научные основы охраны и восстановления почти исчезнувших в природе видов. Так, спасены зубр в Беловежской пуще, большая белая цапля в Астраханском заповеднике, гага — в Кандалакшском.

Для охраны видов организуют также *национальные парки*, в которых для научных исследований выделяют зоны полного покоя животных и огораживают участки редких растений. Остальная территория открыта для посетителей. Научные исследования проводят также в ботанических садах и зоопарках, изучают ресурсы дикой флоры и фауны, ведут работу по акклиматизации видов, распространению биологических знаний и воспитанию чувства ответственности человека перед природой.

Рациональное использование видов предусматривает управле-

ние численностью популяции (с. 89) для сохранения ее целостности. Это относится к любому хозяйству, связанному с природой. Вырубку леса производят с учетом его возобновления; отлов рыбы и отстрел животных ведут с учетом воспроизводства популяции.

Охране видов способствует переход промышленности к новой технологии — без загрязнения атмосферы, воды и почвы отходами производства. Огромное значение имеет внедрение биологических методов очистки промышленных вод в прудах-отстойниках, превращение промышленных отвалов в почвы, пригодные для растений. В борьбе с вредителями сельскохозяйственных культур все шире используют биологические методы, отказываясь там, где это возможно, от применения ядохимикатов, которые наносят большой вред, уничтожая не только вредителей, но и другие виды животных и растений.

Законом об охране атмосферного воздуха и Законом об охране и использовании животного мира, принятыми в июне 1980 г. Верховным Советом СССР, предусмотрено рациональное научно обоснованное и гуманное использование природной среды нашей Родины в интересах настоящего и будущего поколений.

1. Приведите примеры отрицательного влияния деятельности человека на виды растений и животных.
2. Что вы знаете о деятельности Международного союза охраны природы и природных ресурсов (МСОП)?
3. Какие законы об охране природы приняты Верховным Советом СССР и к чему они обязывают?
4. Какими мероприятиями осуществляется охрана природы в СССР?



## 24. Экологические системы

**Биогеоценоз.** Из курсов ботаники и зоологии вы знаете, что в природе виды растений и животных распределяются не случайно, а всегда образуют определенные, сравнительно постоянные комплексы — природные сообщества. Такие комплексы взаимосвязанных видов (популяций разных видов), обитающих на определенной территории с более или менее однородными условиями существования, образуют *биогеоценоз*.

Биогеоценоз неразрывно связан с факторами неживой природы (почва, влажность, температура и др.), образуя вместе с ними устойчивую систему, между компонентами которой протекает круговорот веществ. Саморегуляция проявляется в том, что численность особей каждого вида поддерживается на определенном, относительно постоянном уровне. Такую устойчивую саморегулирующуюся систему академик В. Н. Сукачев и назвал биогеоценозом. В научной литературе подобные системы часто называют экологическими системами (экосистемами).

Основу связей между популяциями биогеоценоза обуславливает характер питания особей и способы получения ими энергии.

Все организмы по способу питания разделяются на две группы — автотрофы и гетеротрофы. Автотрофы (преимущественно растения) для синтеза органических веществ используют неорганические соединения окружающей среды. Гетеротрофы (животные, человек, грибы, бактерии) питаются готовыми органическими веществами, которые синтезировали автотрофы. В любом биогеоценозе очень скоро иссякли бы все запасы неорганических соединений, если бы они не возобновлялись в процессе жизнедеятельности организмов. В результате дыхания, разложения трупов животных и растительных остатков органические вещества превращаются в неорганические соединения, которые возвращаются снова в природную среду и могут опять использоваться автотрофами.

Таким образом, в биогеоценозе в результате жизнедеятельности организмов непрерывно осуществляется поток атомов из неживой природы в живую и обратно, замыкаясь в круговорот. Для круговорота веществ необходим приток энергии извне. Источником энергии служит Солнце. Движение вещества, вызванное деятельностью организмов, происходит циклически, оно может быть использовано многократно, в то время как поток энергии в этом процессе имеет однонаправленный характер. Энергия излучения Солнца в биогеоценозе преобразуется в различные формы: в энергию химических связей, в механическую и, наконец, во внутреннюю.

Круговорот веществ в биогеоценозе — необходимое условие существования жизни. Он возник в процессе становления жизни и усложнялся в ходе эволюции живой природы. С другой стороны, чтобы в биогеоценозе был возможен круговорот веществ, необходимо наличие в экосистеме организмов, создающих органические вещества из неорганических и преобразующие энергию излучения Солнца, а также организмов, которые используют эти органические вещества и снова превращают их в неорганические соединения.

Основу подавляющего большинства биогеоценоза составляют зеленые растения — производители органического вещества (продуценты). В биогеоценозе обязательно присутствуют растительоядные и плотоядные животные — потребители живого органического вещества (консументы) и, наконец, разрушители органических остатков — преимущественно микроорганизмы, которые доводят распад органических веществ до простых минеральных соединений (редуценты). В биогеоценозе каждая из этих трех главных групп образована многими видами.

Существуют, однако, биогеоценозы, не включающие автотрофных растений, например экосистемы больших глубин океана или пещер. Но во всех биогеоценозах подобного типа обязателен приток энергии извне в форме органических веществ, которые как бы заменяют энергию Солнца, аккумулируемую в результате фотосинтеза растениями.



36. Схема пищевой цепи.

Для характеристики биогеоценоза и происходящих в нем процессов необходимо знать основные показатели:

*видовое разнообразие* — число видов растений и животных, образующих данный биогеоценоз;

*плотность популяции* — количество особей данного вида на единице площади или в единице объема (например, для планктона);

*биомасса* — общее количество органического вещества всей совокупности особей с заключенной в нем энергией. Биомассу обычно выражают в единицах массы в пересчете на сухое вещество на единицу площади или объема.

**Пищевые связи.** Каждый вид использует лишь часть содержащейся в органическом веществе энергии. Непригодные для данного вида, но еще богатые энергией вещества используют другие организмы. Таким образом, в процессе эволюции в биогеоценозах сложились цепи взаимосвязанных видов, последовательно извлекающих материалы и энергию из исходного пищевого вещества. Такие связи между особями видов называются пищевыми.

Примеры пищевых цепей можно видеть всюду. Самый простой пример: травоядные животные поедают растения, а выделениями животных и их трупами питаются различные навозные и трупоядные насекомые и гнилостные бактерии. Но в естественной обстановке цепи состоят из большего числа звеньев, так как в них включаются плотоядные животные — хищники и паразиты. Органические остатки образуются в результате жизнедеятельности всех членов цепи .

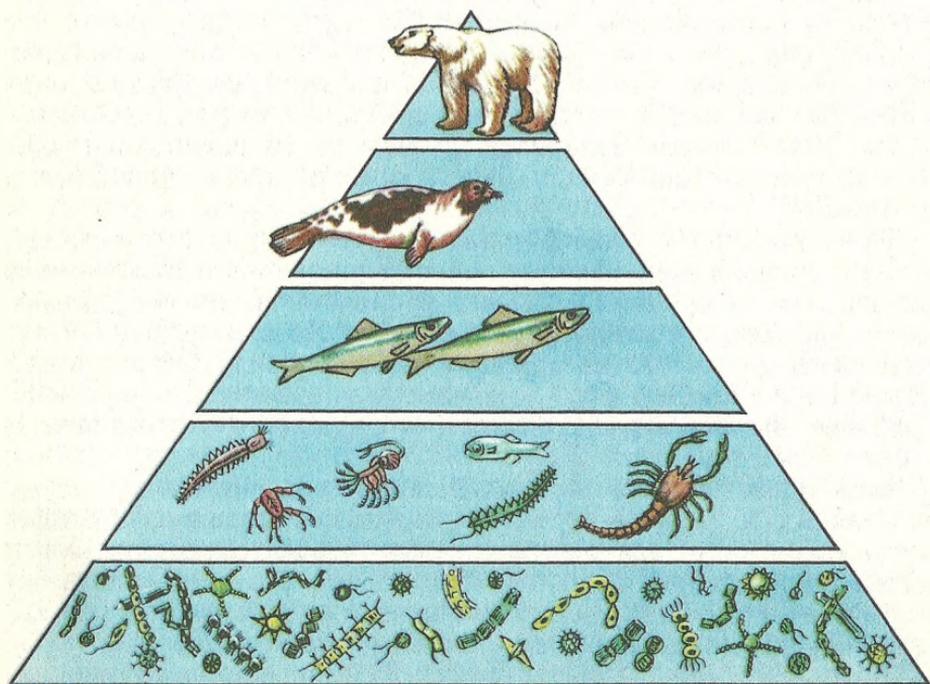
Биогеоценозы очень сложны. В них всегда имеется много параллельных и сложно переплетенных цепей питания, а общее число видов часто измеряется сотнями и даже тысячами. Почти всегда разные виды питаются несколькими разными объектами и сами служат пищей нескольким членам экосистемы. В результате получается сложная сеть пищевых связей.

**Потери энергии в цепях питания.** Все виды, образующие пищевую цепь, существуют за счет органического вещества, созданного зелеными растениями. При этом действует важная за-

кономерность, связанная с эффективностью использования и превращения энергии в процессе питания. Сущность ее заключается в следующем.

Суммарно лишь около 1% лучистой энергии Солнца, падающей на растение, превращается в потенциальную энергию химических связей синтезированных органических веществ и может быть использовано в дальнейшем гетеротрофными организмами при питании. Когда животное поедает растение, большая часть энергии, содержащейся в пище, расходуется на различные процессы жизнедеятельности, превращаясь при этом в тепло и рассеиваясь. Только 5—20% энергии пищи переходит во вновь построенное вещество тела животного. Если хищник поедает травоядное животное, то снова теряется большая часть заключенной в пище энергии. Вследствие таких больших потерь полезной энергии пищевые цепи не могут быть очень длинными: обычно они состоят не более чем из 3—5 звеньев (пищевых уровней).

Всегда количество растительного вещества, служащего основой цепи питания, в несколько раз больше, чем общая масса растительноядных животных, а масса каждого из последующих звеньев пищевой цепи также уменьшается . Эту очень важную закономерность называют правилом экологической пирамиды.



37. Упрощенная экологическая пирамида чисел.

1. Дайте характеристику биогеоценоза. Приведите примеры. 2. Почему круговорот веществ в биогеоценозе составляет основу жизни? 3. Какие связи называют пищевыми? Приведите примеры пищевых связей в биогеоценозе. 4. Какая экологическая закономерность, связанная с использованием и превращением энергии, проявляется в цепях питания?



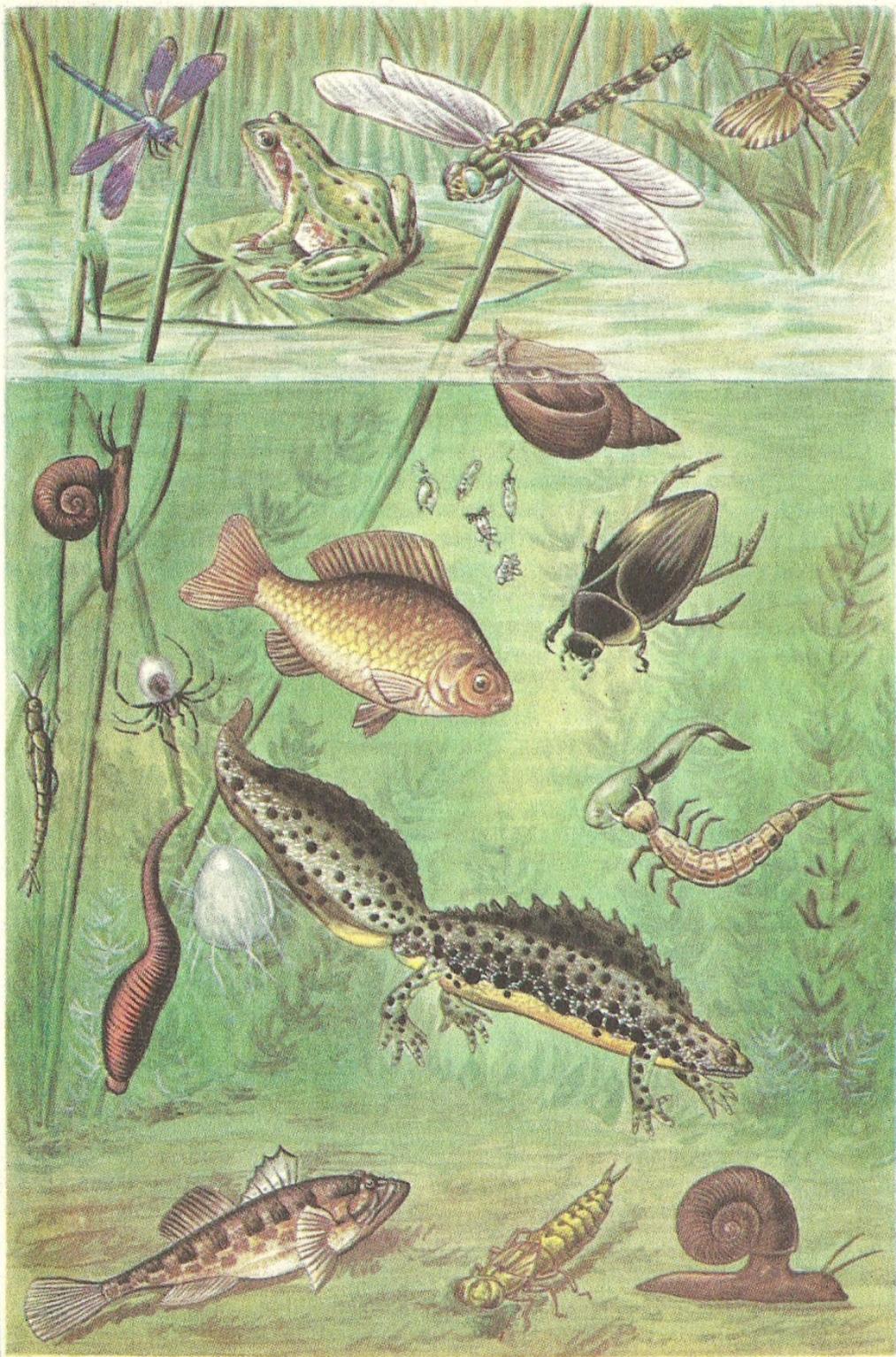
## 25. Водоем и дубрава как примеры биогеоценозов

**Биогеоценоз пресного водоема.** Любой природный водоем, например озеро или пруд, с его растительным и животным населением представляет собой отдельный биогеоценоз. Эта природная система, как и другие биогеоценозы, обладает способностью к саморегуляции и непрерывному самовозобновлению.

Растения и животные, населяющие водоем, распределяются в нем неравномерно. Каждый вид обитает в тех условиях, к которым приспособлен. Наиболее разнообразные и благоприятные для жизни условия создаются в прибрежной зоне. Здесь вода теплее, так как прогревается солнечными лучами. Она достаточно насыщена кислородом. Обилие света, проникающего до дна, обеспечивает развитие многих высших растений. Многочисленны и мелкие водоросли. В прибрежной зоне живут и большинство животных. Одни приспособлены к жизни на водных растениях, другие активно плавают в толще воды (рыбы, хищные жуки-плавунцы и водяные клопы). Многие водятся на дне (перловицы, беззубки, личинки некоторых насекомых — ручейников, стрекоз, поденок, ряд червей и т. п.). Даже поверхностная пленка воды служит местом обитания специально приспособленных к ней видов. В тихих заводях можно видеть бегающих по поверхности воды хищных клопов-водомеров и быстро плавающих кругами жуков-вертячек. Обилие пищи и другие благоприятные условия привлекают в прибрежную зону рыб **38**.

В глубоких придонных участках водоема, куда слабо проникает солнечный свет, жизнь беднее и однообразнее. Фотосинтезирующие растения здесь не могут существовать. Нижние слои воды вследствие слабого перемешивания остаются холодными. Здесь вода содержит мало кислорода.

Особые условия создаются и в толще воды открытых участков водоема. Она заселена массой мельчайших растительных и животных организмов, которые сосредоточены в верхних, более прогреваемых и хорошо освещаемых слоях воды. Здесь развиваются различные микроскопические водоросли; водорослями и бактериями питаются многочисленные простейшие — инфузории, а также коловратки и ракообразные. Весь этот комплекс мелких взвешенных в воде организмов называют *планктоном*. В круговороте веществ и в жизни водоема планктону принадлежит очень важная роль.



38. Биогенез пресного водоема.

**Пищевые связи и устойчивость биогеоценоза пруда.** Рассмотрим, за счет чего существует и как поддерживается система обитателей водоема. Цепи питания состоят из нескольких последовательных звеньев. Например, растительными остатками и развивающимися на них бактериями питаются простейшие, которых поедают мелкие рачки. Рачки, в свою очередь, служат пищей рыбам, а последних могут поедать хищные рыбы. Почти все виды питаются не одним типом пищи, а используют разные пищевые объекты. Пищевые цепи сложно переплетены. Отсюда следует важный общий вывод: если какой-нибудь член биогеоценоза выпадает, то система не нарушается, так как используются другие источники пищи. Чем больше видовое разнообразие, тем система устойчивее.

Первичным источником энергии в водном биогеоценозе, как и в большинстве экологических систем, служит солнечный свет, благодаря которому растения синтезируют органическое вещество. Очевидно, биомасса всех существующих в водоеме животных полностью зависит от биологической продуктивности растений.

Часто причиной низкой продуктивности естественных водоемов бывает недостаток минеральных веществ (в особенности азота и фосфора), необходимых для роста автотрофных растений, или неблагоприятная кислотность воды. Внесение минеральных удобрений, а в случае кислой среды известкование водоемов способствуют размножению растительного планктона, которым питаются животные, служащие кормом для рыб. Таким путем повышают продуктивность рыбохозяйственных прудов.

**Биогеоценоз широколиственного леса.** Среди наземных биогеоценозов одним из наиболее сложных является широколиственный лес, например дубрава. Дубрава — совершенная и устойчивая экологическая система, способная при неизменных внешних условиях существовать веками. Биогеоценоз дубравы составляют более сотни видов растений и несколько тысяч видов животных.

*Растения дубравы.* В наземных биогеоценозах основную биологическую продукцию создают высшие растения. В лесу это преимущественно многолетние древесные породы 39.

Характерная черта лиственного леса заключается в видовом разнообразии растительности. Между растениями происходит усиленная конкуренция за основные жизненные условия: пространство, свет, воду с растворенными в ней минеральными веществами. В результате длительного естественного отбора у растений дубравы выработались приспособления, позволяющие разным видам существовать совместно. Это ярко проявляется в характерной для дубравы ярусности.

Верхний ярус образуют наиболее светолюбивые древесные породы: дуб, ясень, липа. Ниже располагаются сопутствующие им менее светолюбивые деревья: клен, яблоня, груша и др. Еще ниже расположен ярус подлеска, образованный различными кустарниками: лещиной, бересклетом, крушиной, калиной и т. п.

Наконец, на почве произрастает ярус травянистых растений. Чем ниже ярус, тем более теневыносливы образующие его растения.

Ярусность выражена также в расположении корневых систем. Деревья верхних ярусов обладают наиболее глубокой корневой системой и могут использовать воду и минеральные вещества из глубинных слоев почвы.

Дубрава характеризуется высокой биологической продуктивностью. Вследствие ее сложной многоярусности общая площадь листьев растений, произрастающих на каждом гектаре, достигает 4—6 га. Такой мощный фотосинтезирующий аппарат улавливает и трансформирует в потенциальную энергию органического вещества около 1% годового притока солнечной радиации. Последняя в средних широтах составляет около  $3,8 \cdot 10^7$  кДж/га. Почти половина синтезированного вещества расходуется самими растениями в процессе дыхания. Чистая продукция в виде прироста органического вещества в надземных частях растений составляет 5—6 т/га за год. К этому следует добавить 3—4 т/га ежегодного прироста подземных частей. Таким образом, продукция дубрав достигает почти 10 т/га в год.

*Цепи питания в дубравах.* Богатство и разнообразие растений, производящих громадное количество органического вещества, которое может быть использовано в качестве пищи, становятся причиной развития в дубравах многочисленных потребителей



39. Биогеоценоз широколиственного леса.

из мира животных, от простейших до высших позвоночных — птиц и млекопитающих.

Среди млекопитающих пищевую цепь, например, составляют растительноядные мышевидные грызуны и зайцы, а также копытные, за счет которых существуют хищники: ласка, горностай, куница, лиса, волк. Все виды позвоночных служат средой обитания и источником питания для различных наружных паразитов, преимущественно насекомых и клещей, а также внутренних паразитов: плоских и круглых червей, простейших, бактерий.

Пищевые цепи в лесу переплетены в очень сложную пищевую сеть, поэтому выпадение какого-нибудь одного вида животных обычно не нарушает существенно всю систему. Значение разных групп животных в биогеоценозе неодинаково. Исчезновение, например, в большинстве наших дубрав всех крупных растительноядных копытных: зубров, оленей, косуль, лосей — слабо отразилось бы на общей экосистеме, так как их численность, а следовательно, биомасса никогда не была большой и не играла существенной роли в общем круговороте веществ. Но если бы исчезли растительноядные насекомые, то последствия были бы очень серьезными, так как насекомые выполняют важную в биогеоценозе функцию опылителей, участвуют в разрушении опада и служат основой существования многих последующих звеньев пищевых цепей.

*Саморегуляция в лесном биогеоценозе.* Процесс саморегуляции в дубраве проявляется в том, что все разнообразное население леса существует совместно, не уничтожая полностью друг друга, а лишь ограничивая численность особей каждого вида определенным уровнем. Насколько велико в жизни леса значение такой регуляции численности, можно видеть из следующего примера. Листьями дуба питается несколько сотен видов насекомых, но в нормальных условиях каждый вид представлен столь малым количеством особей, что даже их общая деятельность не наносит существенного вреда дереву и лесу. Между тем все насекомые обладают большой плодовитостью. Количество яиц, откладываемых одной самкой, редко бывает менее 100. Многие виды способны давать 2—3 поколения за лето. Следовательно, при отсутствии ограничивающих факторов численность любого вида насекомых возросла бы очень быстро и привела бы к разрушению экологической системы.

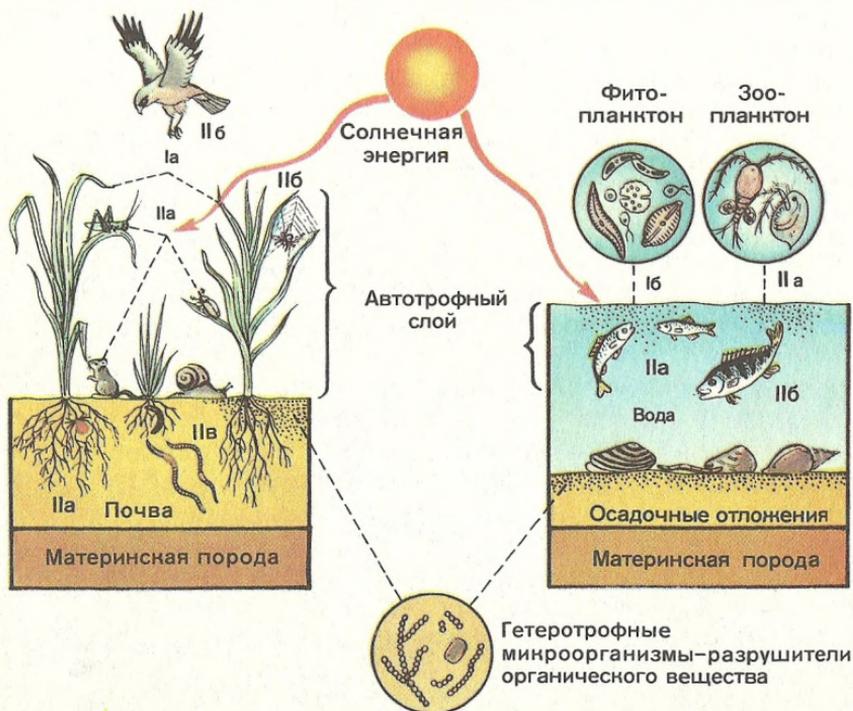
Наблюдения показывают, что некоторая часть потомства погибает под влиянием различных неблагоприятных условий погоды. Но основную массу уничтожают другие члены биогеоценоза: хищные и паразитические насекомые, птицы, болезнетворные микроорганизмы.

Ограничивающее действие экологической системы все же не исключает полностью случаев массового размножения отдельных видов, которое бывает связано с сочетанием благоприятных факторов среды (см. «волны жизни», с. 33). Однако после мас-

совой вспышки особенно интенсивно проявляются регулирующие факторы (паразиты, болезнетворные бактерии и др.), которые снижают численность вредителей до средней нормы.

**Минерализация органических остатков.** Огромное значение в жизни леса имеют процессы разложения и минерализации массы отмирающих листьев, древесины, остатков животных и продуктов их жизнедеятельности. Из общего ежегодного прироста биомассы надземных частей растений около 3—4 т на 1 га естественно отмирает и опадает, образуя так называемую лесную подстилку. Значительную массу составляют также отмершие подземные части растений. С опадом возвращается в почву большая часть потребленных растениями минеральных веществ и азота.

Животные остатки очень быстро уничтожаются жуками-мертвоядами, кожеедами, личинками падальных мух и другими насекомыми, а также гнилостными бактериями. Труднее разлагается клетчатка и другие прочные вещества, составляющие значительную часть растительного опада. Но и они служат пищей для ряда организмов, например грибов и бактерий, имеющих специальные ферменты, которые расщепляют клетчатку и другие вещества до легкоусвояемых сахаров.



#### 40. Сравнение общей структуры наземного и водного биогеоценозов:

I — растения, производящие органическое вещество: а — высшие растения; б — водоросли; II — животные — потребители органического вещества: а — растительноядные, б — плотоядные, в — питающиеся смешанной пищей.

Как только растения погибают, их вещество полностью используется разрушителями. Значительную часть биомассы составляют дождевые черви, производящие огромную работу по разложению и перемещению органических веществ в почве. Общее число особей насекомых, панцирных клещей, червей и других беспозвоночных достигает многих десятков и даже сотен миллионов на гектар. В разложении опада особенно велика роль бактерий и низших, сапрофитных грибов.

В лесном биогеоценозе ясно прослеживается круговорот веществ и движение энергии.

Лесной биогеоценоз, использующий энергию излучения Солнца, в принципе неистощим как источник органического сырья. Понятно поэтому большое внимание, которое уделяют охране, восстановлению и разумному использованию лесов. Правильно поставленное лесное хозяйство, учитывающее особенности леса как сложной экосистемы, позволяет длительно эксплуатировать лесные массивы, не уничтожая их, а повышая выход хозяйственно ценной продукции.

1. Постройте схему пищевых связей в биогеоценозе пресноводного водоема, определите круговорот вещества и поток энергии в нем. 2. Как обеспечивается устойчивость биогеоценоза водоема? 3. В чем причины устойчивости лесных биогеоценозов? 4. Укажите основные цепи питания в биогеоценозах пресноводного водоема и дубравы. 5. В чем выражается саморегуляция в биогеоценозе дубравы? 6. Назовите основные этапы круговорота веществ и движения энергии в лесном биогеоценозе. 7. Сравните биогеоценозы водоема и дубравы. Какой более устойчив и почему? (Для сравнения биогеоценозов используйте .)



## 26. Изменения в биогеоценозах

Хотя биогеоценоз является саморегулирующейся системой, стремящейся к устойчивому состоянию, однако последнее никогда не достигается полностью. Этому препятствует непостоянство внешних условий, например климатических, а также изменения, возникающие в результате жизнедеятельности организмов, из которых состоит биогеоценоз. Остановимся на двух проявлениях изменчивости биогеоценоза: на изменении численности отдельных видов и на изменениях самих биогеоценозов.

**Колебания численности.** Численность популяции любого вида животных или растений зависит от баланса рождаемости и гибели. Увеличение популяции может быть вызвано повышением рождаемости, как и понижением числа погибающих. В природе оба показателя зависят от множества экологических факторов, действующих часто в противоположных направлениях. В наземных биогеоценозах особенно выражены колебания численности в популяциях животных. В результате взаимных приспособлений разных видов в биогеоценозе устанавливается определенный

для каждого вида уровень таких колебаний. Для одних видов колебания не велики, для других могут быть значительными, и вид, редкий в данном году, в следующем может стать обычным.

Чтобы установить непосредственные причины колебания численности, необходимо детально знать биологию интересующего нас вида и его врагов, особенности влияния на данный вид различных экологических факторов и, наконец, изменчивость этих факторов. Сопоставляя такие данные, можно обнаружить тот из факторов среды, который чаще и сильнее отклоняется от оптимальной для вида величины и, следовательно, изменяет численность популяции. Рассмотрим некоторые примеры. Численность многих видов животных зависит от изменений количества корма. Такая связь особенно заметна на видах, узкоприспособленных к определенному типу пищи. Так, белка питается главным образом семенами хвойных деревьев, и поэтому численность ее сильно зависит от урожая шишек. Пища является основным ограничивающим фактором и для хищников.

Размножение растительноядных насекомых сдерживается преимущественно хищниками, паразитами и болезнетворными микроорганизмами. Но если нормальные соотношения между растительноядными насекомыми и их врагами нарушаются, то численность первых может увеличиваться в десятки и сотни раз.

Массовые размножения некоторых насекомых наносят особенно большой урон сельскому хозяйству.

Вспышки размножения вредителя бывают разной силы и обычно длятся недолго. Численность вредителя, достигнув максимума, очень быстро снижается. Для большинства вредителей причины снижения сходны. Они заключаются в ускоренном размножении хищников и паразитов, а также в развитии различных вирусных, бактериальных и грибковых заболеваний. Действию этих биологических факторов способствует возникающий при массовых размножениях недостаток корма.

Труднее определить непосредственные причины, вызывающие вспышки размножения. Чаще всего они связаны с прямым или косвенным действием условий погоды. Так, массовое размножение сибирского шелкопряда, наносящего иногда на миллионах гектаров огромный ущерб лесам Сибири, обычно наступает после сухого теплого лета.

Большое влияние на соотношение видов в биогеоценозе оказывает деятельность человека. Общеизвестно, что неограниченная охота привела местами к почти полному уничтожению многих ценных промысловых зверей и птиц, например бобров, копытных, водоплавающей дичи и др. Иногда деятельность человека приводит и к усиленному размножению ряда видов. Так, против насекомых-вредителей стали широко применять некоторые яды. Они уничтожают не только этих насекомых, но и часть хищных и паразитических животных. Вместе с тем некоторые устойчивые к ядам сосущие насекомые и растительноядные кле-

щи, которые прежде подавлялись хищниками, стали усиленно размножаться и наносить вред сельскому и лесному хозяйству. Изучение динамики численности различных организмов в биогеоценозе и причин, ее определяющих, необходимо для того, чтобы предвидеть и предотвращать массовое размножение насекомых-вредителей. Это одна из важных задач экологии.

**Смена биогеоценоза.** Любой биогеоценоз развивается и эволюционирует. Ведущее значение в процессе смены наземных биогеоценозов принадлежит растениям, но их деятельность неотделима от деятельности остальных компонентов системы, и биогеоценоз всегда живет и изменяется как единое целое. Велика также роль деятельности человека. Знать закономерности и направление естественной смены биогеоценоза необходимо не только для понимания причин разнообразия окружающей нас природы, но и для управления этими процессами.

Смена идет в определенных направлениях, а длительность существования различных биогеоценозов очень различна. Примером изменения недостаточно сбалансированной системы может служить зарастание водоема. Вследствие недостатка кислорода в придонных слоях воды часть органического вещества остается неокисленной и не используется в дальнейшем круговороте. В глубоких местах остатки планктона откладываются на дне, образуя мелкозернистый ил. В прибрежной зоне накапливаются остатки водной растительности, образующие торфянистые отложения. Водоем мелеет, чему способствуют также отложения глины и песка, поступающие с водосборной площади. Прибрежная водная растительность распространяется к центру водоема, образуются торфяные отложения. Озеро постепенно превращается в болото. Исчезают рыбы и планктон открытых участков. Многие растения и животные замещаются другими видами, более приспособленными к условиям болот. Окружающая наземная растительность постепенно надвигается на место бывшего водоема. В зависимости от местных условий здесь может возникнуть осоковый луг, лес или иной тип биогеоценоза.

Некоторые устойчивые биогеоценозы после нарушения способны к самовосстановлению, которое осуществляется через ряд этапов. Примером может служить закономерная смена биогеоценозов при восстановлении елового леса. После вырубki или пожара условия на месте ельника настолько изменяются, что ель не может снова заселить освободившуюся площадь. На открытых местах всходы ели повреждаются весенними заморозками, страдают от солнечного нагрева и не могут конкурировать со светлюбивыми растениями. В первые два года на вырубках и гарях буйно развиваются травянистые растения: кипрей (иван-чай), вейник и др. Вскоре появляются многочисленные всходы березы, осины, а иногда сосны, семена которых легко разносятся ветром. Они вытесняют травянистую растительность и постепенно образуют мелколиственный или сосновый лес. Только теперь возни-

кают условия, благоприятные для возобновления ели. Теневыносливые всходы ели успешно конкурируют с подростом светолюбивых лиственных пород. Когда ель достигает верхнего яруса, она полностью вытесняет лиственные деревья. Так, через ряд временных биогеоценозов восстанавливается исходный биогеоценоз елового леса.

**Географическая зональность биогеоценозов.** Различные типы биогеоценозов тесно связаны с географической зональностью. На территории СССР с севера на юг последовательно располагается ряд природных зон: тундра, тайга, лиственный лес, степь, пустыня. Каждую зону характеризуют преобладающие типы коренных биогеоценозов. Наиболее заметно зональные изменения проявляются в растительности — ведущем компоненте биогеоценоза. Это сопровождается столь же сильным изменением видового состава животных-потребителей и организмов, разрушающих органическое вещество. Почва, будучи важной составной частью экосистемы и результатом ее деятельности, также меняется по географическим зонам.



1. Приведите примеры смены биогеоценозов в природе.
2. Какие основные абиотические факторы определяют географическую зональность биогеоценозов?
3. Приведите примеры изменения биогеоценозов под воздействием человека.
4. Каковы причины колебания численности популяций?

## 27. Биогеоценозы, создаваемые человеком

Вы познакомились со структурой природных биогеоценозов и процессами, протекающими в них без прямого участия человека. Хозяйственная деятельность людей — мощный фактор преобразования природы. В результате этой деятельности формируются своеобразные биогеоценозы. К числу их можно отнести, например, *агроценозы*, представляющие собой искусственные биогеоценозы, возникающие в результате сельскохозяйственной деятельности человека **41**. Примерами могут служить искусственно создаваемые луга, поля, пастбища. При создании таких биогеоценозов человек широко применяет разнообразные агроприемы: посев высокопродуктивных трав, мелиорацию (при избыточном увлажнении), внесение удобрений, различные способы обработки почв, иногда искусственное орошение и т. п. К числу создаваемых биогеоценозов следует отнести также парки, плодовые сады и ягодники, лесные насаждения и т. п.

При создании искусственных биогеоценозов необходимо возможно полнее учитывать формы взаимоотношений, которые складываются в таких сообществах между их компонентами и почвой. Особенно важно учитывать свойства почвы, необходимость ее охраны от разрушения ветрами и водой (эрозии), сохранения естественной структуры и целостности почвенного покрова и др.

Высокая численность растений одного вида на значительных площадях может привести к тому, что питающиеся этими растениями насекомые, которые в естественных биогеоценозах встречались редко, сильно размножатся и станут опасными вредителями возделываемых культур. Например, свекловичный долгоносик на естественных лугах питался немногочисленными видами растений семейства бурачниковых, не причиняя им большого вреда. Положение в корне изменилось, когда была введена в культуру сахарная свекла, занявшая огромные площади. «Безобидный» свекловичный долгоносик превратился в массового вредителя одной из важнейших сельскохозяйственных культур. Аналогичных примеров существует немало.

Создаваемые человеком искусственные биогеоценозы требуют неустанного внимания и активного вмешательства в их жизнь. При высокой агротехнике и учете взаимодействия компонентов агроценоза они могут быть высокопродуктивными, как, например, искусственные луговые угодья, лесонасаждения и т. п.

Между естественными и искусственными биогеоценозами наряду со сходством существуют и различия, которые важно учитывать в хозяйственной деятельности человека.

Естественные биогеоценозы обычно слагаются из большого количества видов, как мы это видели на приведенных выше примерах (пруд, дубрава). Естественные биогеоценозы представляют собой экологические системы, которые складываются в природе под действием естественного отбора. Последний отбирает все слабо приспособленные формы организмов. В результате складывается сложная, относительно стойкая экологическая система, способная к саморегуляции. В естественных биогеоценозах осуществляется круговорот веществ, в результате которого вещества, потребляемые растениями, возвращаются в почву.

В создаваемых человеком искусственных биогеоценозах — агроценозах — компоненты подбираются исходя из хозяйственной ценности. Здесь ведущий фактор не естественный, а искусственный отбор. Через искусственный отбор и другие агротехнические мероприятия человек стремится получить максимальную биологическую продуктивность (урожай). В искусственных биогеоценозах значительная часть питательных веществ выносятся с урожаем из системы и естественный круговорот веществ не осуществляется.

В естественных биогеоценозах источником энергии является Солнце. В агроценозах наряду с этим (естественным) источником энергии человек вносит удобрения, без которых высокая биологическая продуктивность не может быть реализована. Агроценозы существуют и дают высокую биологическую продуктивность благодаря непрерывному вмешательству и поддержке человека, без участия которого они существовать не могут.

В агроценозах между его компонентами, так же как и в естественных экосистемах, складываются разнообразные связи.

Так, на пшеничном поле между пшеницей, сорняками, растительными насекомыми-вредителями, хищными и паразитическими насекомыми, нападающими на вредителей пшеницы, мелкими грызунами, которые питаются за счет растений, складываются сложные биологические связи. Эти отношения в значительной части также регулируются человеком в процессе хозяйственной деятельности.

Между естественными и созданными человеком биогеоценозами существует ряд сообществ, где в естественно сложившиеся биогеоценозы деятельность человека вносит более или менее существенные изменения. К числу таких «промежуточных» биогеоценозов можно отнести лесопарки или созданные на основе естественных лугов в результате мелиоративных мероприятий угодья, обладающие иногда очень высокой продуктивностью.

В настоящее время, когда развитие земледелия не может идти по пути использования новых земель под сельскохозяйственные культуры, особенно остро встает проблема повышения продуктивности агроценозов. Для этого в нашей стране необходимо решить ряд очень важных сельскохозяйственных задач, выполнение которых позволит обеспечить устойчивое снабжение населения всеми видами продовольствия.

Повышению продуктивности агроценозов способствует использование новых технологий выращивания сельскохозяйствен-



41. Искусственный биогеоценоз (агроценоз).

ных растений. Все более широкое применение получает индустриальная технология, в основе которой лежат новейшие достижения биологической и других областей науки. Индустриальная технология характеризуется высокой специализацией хозяйства, применением достижений селекции, агрохимии, растениеводства, использованием высокопроизводительной техники, которая работает с учетом биологических особенностей сельскохозяйственных растений.

В целях сохранения плодородия земель проводят минимальное число обработок почвы, чтобы тяжелая техника не разрушала структуру почвы. Так, предпосевную обработку почвы совмещают с внесением высокоэффективных и быстро разлагающихся химических препаратов для уничтожения сорняков. Индустриальная технология требует выращивания на полях высокопродуктивных сортов и гибридов растений, внесения оптимальных доз органических и минеральных удобрений.

Важнейшее условие применения индустриальной технологии — размещение сельскохозяйственных культур по лучшим предшественникам. Например, предшественник кукурузы должен быть убран рано с поля, чтобы осенью можно было тщательно обработать почву, очистить поле от сорняков, обеспечить достаточный запас влаги в почве. Предшественник кукурузы не должен иметь общих с ней вредителей, возбудителей заболеваний. Этим требованиям удовлетворяют зернобобовые, которые обогащают почву азотом, а также картофель.

Важное условие получения высоких урожаев — своевременное проведение всех сельскохозяйственных работ. Нельзя опаздывать с посевом семян, проведением агротехнических мероприятий по уходу за растениями, уборкой урожая.

Применение индустриальной технологии выращивания сельскохозяйственных культур способствует значительному повышению продуктивности агроценозов.

1. Приведите примеры биогеоценозов, создаваемых человеком. 2. Какие различия существуют между искусственно созданными и естественными биогеоценозами? 3. Как человек может способствовать повышению продуктивности искусственных биогеоценозов?



Энергия солнца

40 тыс. китов  
0,6 млн. т мяса  
0,45 млн. т жира

Водоросли  
биомасса  
30-100 т/га

Фитопланктон  
27 млрд. т  
орган. в-ва

Зоопланктон

Бентос 3 млн. т,  
в т.ч. моллюски

Рыбы  
30 млн. т

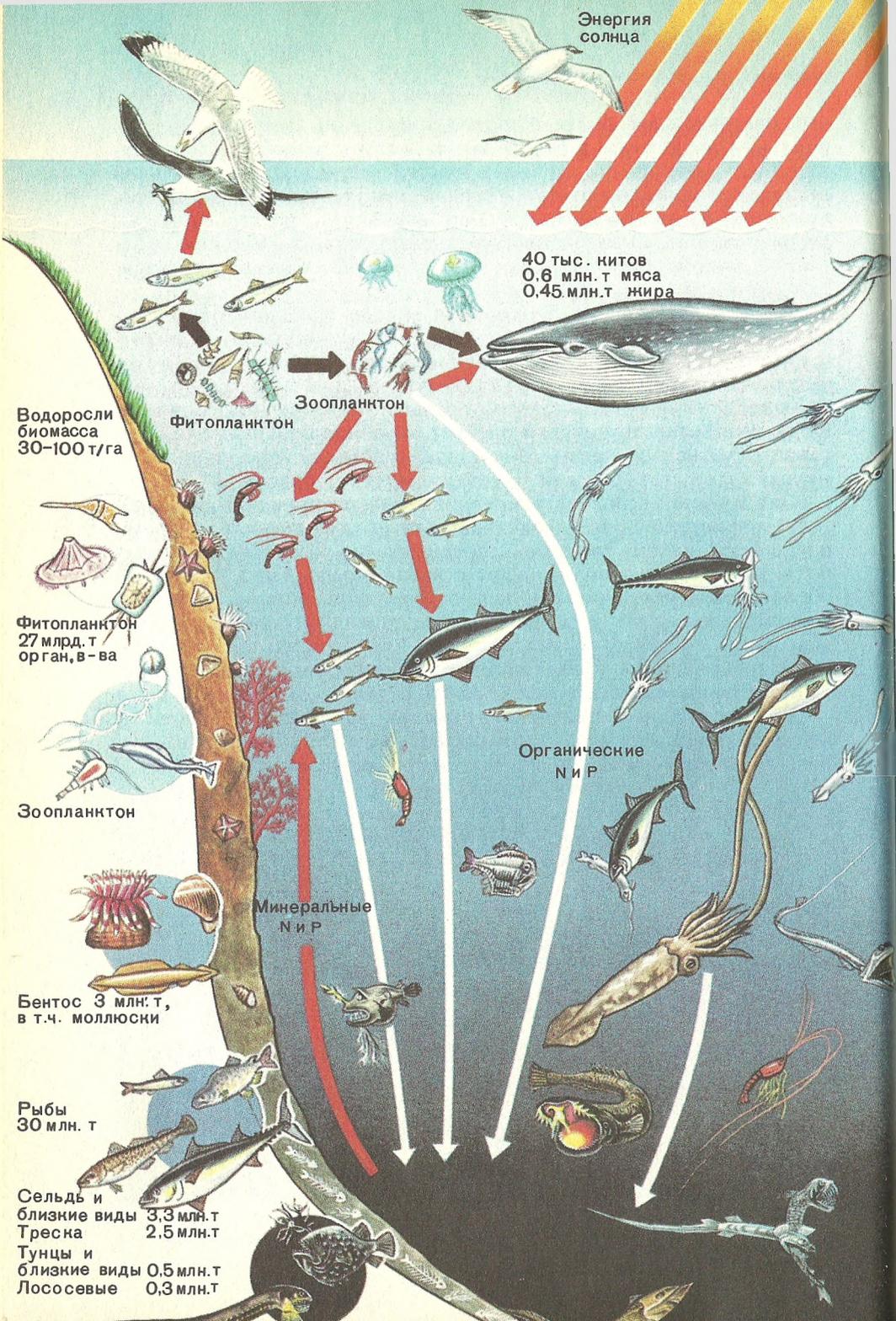
Сельдь и  
близкие виды 3,3 млн. т  
Треска 2,5 млн. т  
Тунцы и  
близкие виды 0,5 млн. т  
Лососевые 0,3 млн. т

Фитопланктон

Зоопланктон

Органические  
Н и Р

Минеральные  
Н и Р

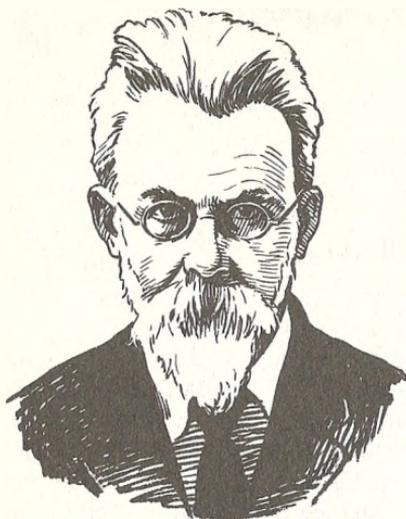


### 28. Биосфера и свойства биомассы планеты Земля

В век научно-технического прогресса особое значение приобретают знания о жизненных процессах в целом, происходящих на всей планете. Исследования космоса позволили рассматривать Землю извне и изучать окружающие ее сферы. Увеличение народонаселения на Земле требует изыскания новых пищевых ресурсов. Вредные отходы промышленности и транспорта ставят проблему охраны не только живых организмов, но и чистоты вод и воздуха. В связи с этим необходимо понять роль живой природы в круговороте веществ на Земле. Главное — определить значимость живой природы как носителя и трансформатора энергии. Необходимо знать структуру жизни на всей планете и основы ее устойчивости. При изучении в предшествующих классах растений, животных, человека и общей биологии вы познакомились с живой природой на всех уровнях ее организации: молекулярном, клеточном, организменном, популяционно-видовом и биогеоценоотическом. При изучении данной темы вы познакомитесь с высшим уровнем организации жизни на нашей планете — биосферным.

**Биосфера и ее границы.** Изучение многообразия форм органического мира и закономерностей его развития не будет полным без понимания места и роли живых организмов в целом на всей планете Земля. *Совокупность всех живых организмов составляет живое вещество, или биомассу, планеты.*

Жизнедеятельность организмов изменила и изменяет земную кору и атмосферу. Растительная часть биомассы за миллиарды лет очистила атмосферу от углекислого газа, обогатила ее кислородом и привела к отложению углерода в известняках, каменных углях, нефти. В процессе эволюции на Земле образовалась особая оболочка, или сфера, населенная живыми организмами. Эта земная оболочка, или область жизни, названа *биосферой* (греч. «биос» — жизнь, «сфера» — шар). Впервые это название было дано Ж. Б. Ламарком. Учение о биосфере создано академиком В. И. Вернадским (1863—1945), основоположником новой науки — биогеохимии, связывающей химию Земли с химией жизни



В. И. Вернадский.

и установившей роль живого вещества в преобразовании земной поверхности.

На планете Земля различают несколько геосфер **42**.

*Литосфера* (греч. «литос» — камень) — внешняя твердая оболочка земного шара. Она состоит из двух слоев: верхнего — осадочных пород с гранитом и нижнего — базальта. Слои расположены неравномерно. Гранит местами выходит на поверхность.

Все океаны, моря (совокупность их называют Мировым океаном), составляющие 70,8% поверхности Земли, а также озера, реки образуют *гидросферу*. Глубина океана в среднем 3,8 км, в отдельных впадинах — до 11,034 км.

Над поверхностью литосферы и гидросферы вверх до 100 км простирается *атмосфера*. Нижний слой атмосферы в среднем высотой 15 км называют *тропосферой* (греч. «тропэ» — перемена). Тропосфера включает взвешенные в воздухе водяные пары, перемещающиеся при неравномерном нагреве поверхности Земли. Над тропосферой различают *стратосферу* (лат. «стратум» — слой) высотой до 100 км. У границы ее возникают северные сияния. В стратосфере на высоте 15—35 км свободный кислород под влиянием солнечной радиации превращается в озон ( $O_2 \rightarrow O_3$ ), который образует экран и отражает губительные для живых организмов космические излучения и частично ультрафиолетовые лучи Солнца.

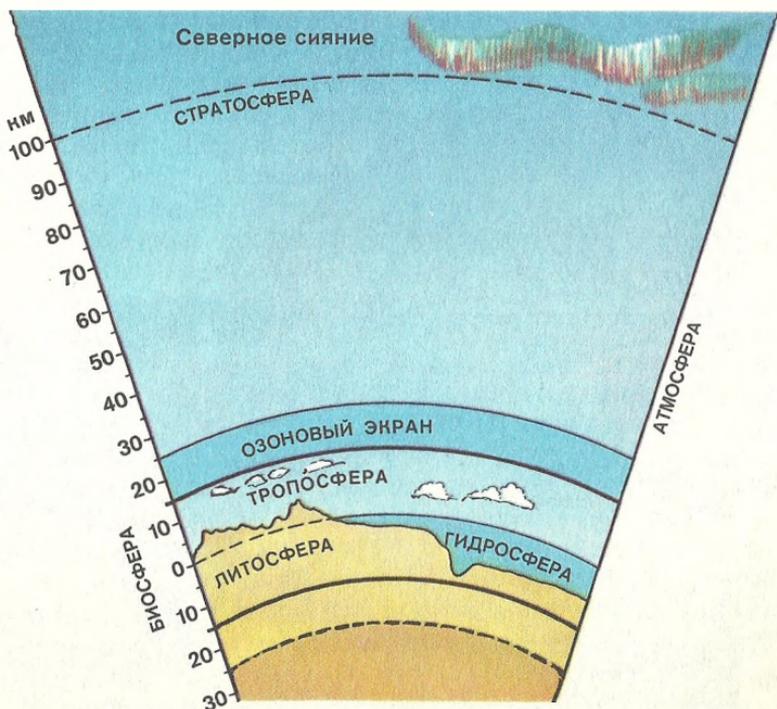
Среди всех сфер Земли особое место занимает *биосфера* — геологическая оболочка, населенная живыми организмами. Она охватывает поверхность Земли, верхнюю часть литосферы, всю гидросферу и нижнюю часть атмосферы — тропосферу **42**. В биосфере проявляется деятельность живого вещества: растений, животных, микроорганизмов и человечества. Границы биосферы определяются наличием условий, необходимых для жизни различных организмов **43**. Верхний предел жизни биосферы ограничен интенсивной концентрацией ультрафиолетовых лучей; нижний — высокой температурой земных недр (свыше  $100^\circ C$ ). Крайних пределов ее достигают только низшие организмы — бактерии. Споры бактерий и грибов залетают на высоту 20 км, а анаэробных бактерий находят в земной коре на глубине свыше 3 км, в водах месторождений нефти.

Наибольшая концентрация живой массы в биосфере наблюдается у поверхности суши и океана, у границ соприкосновения литосферы и атмосферы, гидросферы и атмосферы, гидросферы и литосферы. В этих местах наиболее благоприятные условия жизни — температура, влажность, содержание кислорода и химических элементов, нужных для питания организмов. К верхним слоям атмосферы, в глубь океана и недр литосферы концентрация жизни уменьшается. Накопление биомассы обуславливается жизнедеятельностью зеленых растений.

Масса живого вещества по сравнению с массой земной коры незначительна. И тем не менее многие изменения земной коры обусловлены жизнедеятельностью биомассы.

**Свойства живого вещества.** Организмы, составляющие биомассу, обладают громадной способностью воспроизводства — размножения и распространения по планете.

Энергия биомассы особенно проявляется в размножении. «Живое вещество — совокупность организмов, — подобно массе газа, растекается по земной поверхности и оказывает определенное давление в окружающей среде, обходит препятствия, мешающие его продвижению, или ими овладевает, их покрывает. Это движение достигается путем размножения организмов... Уже К. Линней ясно видел, что это свойство должно считаться



основным для живого, той непроходимой гранью, которая отделяет его от мертвой косной материи» (Вернадский).

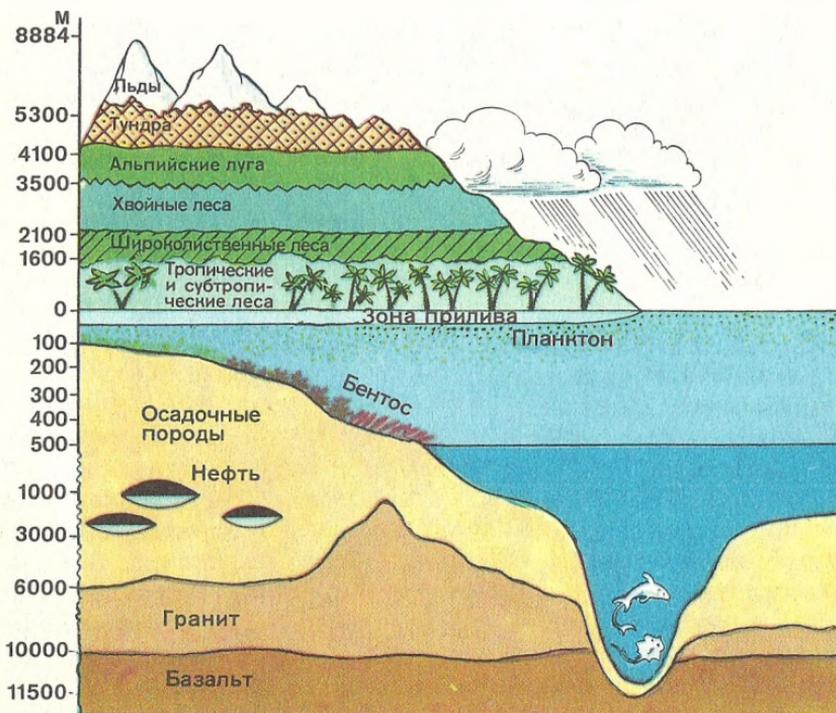
В некоторые годы размножение отдельных видов вспыхивает с такой силой, что влечет нашествие громадных масс насекомых (саранча), грызунов и других животных (с. 27). Захват пространства разными организмами обусловлен интенсивностью их размножения.

Мелкие организмы, особенно в водной среде, размножаются и распространяются очень быстро. Численность некоторых бактерий удваивается каждые 22 мин. Быстро размножаются членистоногие, составляющие главную массу животных суши.

Размножение и быстрое распространение организмов, особенно одноклеточных, определило «всюдность» (Вернадский) жизни — до крайних пределов биосферы.

Плотность жизни зависит от размеров организмов и необходимой для их жизни площади. Для ряски и водоросли хлореллы она определяется площадью, равной их размерам. Слону требуется площадь 30 км<sup>2</sup>, пчеле для сбора меда — 200 м<sup>2</sup>, травянистым растениям — в среднем 30 см<sup>2</sup>. Напор жизни создает борьбу организмов за площадь, пищу, воздух, воду.

Особенность каждого живого организма и всей биомассы состоит в постоянном обмене веществ с окружающей средой.



43. Пределы жизни в биосфере.

Различные элементы входят в живой организм, накапливаются в нем и выходят из него, частично при жизни и частично после смерти. Это главным образом кислород, водород, углерод, натрий, кальций, фосфор, калий, кремний и другие — более 20 элементов. В процессе питания происходит накопление энергии и передача ее другим организмам по цепи питания и путем размножения. Особенное значение в биосфере имеет выделение кислорода и поглощение углекислого газа при фотосинтезе зеленых растений.

В биосфере растительная масса во много раз превышает животную. В целом биомасса составляет лишь около 0,01% массы всей биосферы, но роль ее на планете грандиозна.

В среднем биомасса на Земле, по современным данным, составляет примерно  $2,423 \cdot 10^{12}$  т, при этом масса зеленых растений суши — 97%, животных и микроорганизмов — 3%.

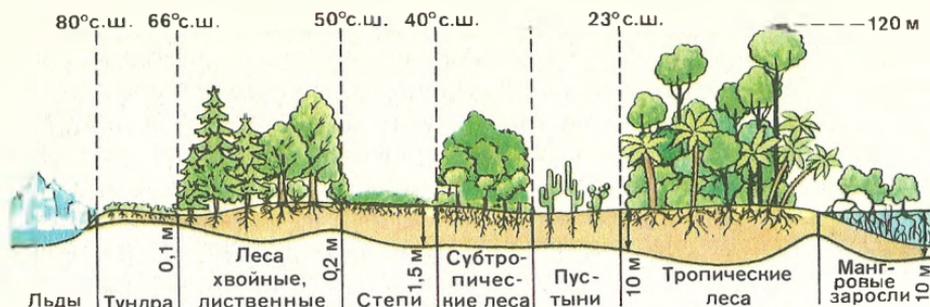
1. Что такое биосфера? 2. Чем определяются границы биосферы? 3. Охарактеризуйте плотность жизни на примере одного из биогеоценозов.
4. Каковы основные свойства биомассы?



## 29. Биомасса поверхности суши и океана

На суше Земли, начиная от полюсов к экватору, биомасса постепенно увеличивается **144**. Вместе с тем возрастает и количество видов растений. Тундра с лишайниками и мхами (до 500 видов) сменяется хвойными и широколиственными лесами, затем степями (до 2000 видов) и субтропической растительностью (свыше 3000 видов). Наибольшее сгущение и многообразие растений имеет место во влажных тропических лесах (свыше 8000 видов). Высота деревьев достигает 110—120 м. Растения растут в несколько ярусов, эпифиты покрывают деревья. Количество и разнообразие видов животных зависят от растительной массы и тоже увеличиваются к экватору. В лесах животные расселены в различных ярусах. Наивысшей плотности жизнь достигает при большом разнообразии строения организмов, т. е. при различной приспособленности видов к условиям совместного существования. Поэтому наибольшая плотность жизни наблюдается в биогеоценозах, где виды связаны цепями питания. Цепи питания, переплетаясь, образуют сложную сеть передачи химических элементов и энергии от одного звена к другому. Между организмами идет жесточайшее состязание за обладание пространством, пищей, светом, кислородом (с. 28). Большое влияние на биомассу суши оказывает человек. Под его воздействием сокращаются площади, производящие биомассу. Это требует рационального использования земель и водоемов для промышленных и сельскохозяйственных нужд.

**Биомасса почвы.** Своеобразные биогеоценозы почв покрывают



#### 44. Распространение биомассы на поверхности суши.

почти всю поверхность суши. Почва не только среда, необходимая для жизни растений, но и биогеоценоз с разнообразными мельчайшими живыми организмами. Почва — рыхлый поверхностный слой земной коры, изменяемый атмосферой и организмами и постоянно пополняемый органическими остатками. Образование живого органического вещества происходит на земной поверхности; разложение органических веществ, их минерализация осуществляются главным образом в почве. Почва образовалась под воздействием организмов и физико-химических факторов. Мощность почвы наряду с поверхностной биомассой и под влиянием ее увеличивается от полюсов к экватору. В северных широтах особое значение имеет перегной, мощность которого в подзолистых почвах примерно 5—10 см, а в черноземных — 1—1,5 м. В разных почвах существуют своеобразные биоценозы. Их составляют корни деревьев, кустарников, травянистых растений, расположенные в почве и в нижележащих слоях подпочвы ярусами. Скопления насекомых и их личинок, долбящих, роющих, сверлящих почву, производят огромную работу. По наблюдению Ч. Дарвина, дождевые черви, пропуская почву через кишечник, выносят ее на поверхность, ежегодно образуя слой толщиной 0,5 см, массой 25 т на 1 га.

Почва плотно заселена живыми организмами. Биомасса одних дождевых червей в суглинистых почвах достигает 1,2 т на 1 га, или 2,5 млн. особей. Количество бактерий в 1 г почвы измеряется сотнями миллионов. Вода от дождей, тающих снегов обогащает ее кислородом и растворяет минеральные соли. Часть растворов удерживается в почве, часть выносится в реки и океан. Почва испаряет поднимающуюся по капиллярам грунтовую воду. Происходит движение растворов и выпадение солей в разных почвенных горизонтах.

В почве происходит и газообмен. Ночью при охлаждении и сжатии газов в нее проникает некоторое количество воздуха. Кислород воздуха поглощается животными и растениями и входит в состав химических соединений. Проникший в почву с воздухом азот улавливается некоторыми бактериями. Днем при

нагревании почвы выделяются газы: углекислый, сероводород, аммиак. Все процессы, происходящие в почве, входят в круговорот веществ биосферы.

Некоторые виды хозяйственной деятельности человека (химизация сельскохозяйственного производства, переработка нефтепродуктов и др.) вызывают массовую гибель почвенных организмов, играющих важную роль в биосфере. Необходимо бережное отношение к почве, рациональное ее использование и защита от загрязнения.

**Биомасса Мирового океана.** Гидросфера Земли, или Мировой океан, занимает более 2/3 поверхности планеты. Объем воды в Мировом океане в 15 раз больше возвышающейся над уровнем моря суши.

Вода обладает особыми свойствами, важными для жизни организмов. Ее высокая теплоемкость делает более равномерной температуру океанов и морей, смягчая крайние изменения температуры зимой и летом. Теплопроводность воды больше теплопроводности воздуха в 20 раз. Океан замерзает только у полюсов, но и подо льдом существуют живые организмы.

Вода — хороший растворитель. В состав воды океана входят минеральные соли, содержащие около 60 химических элементов. И, что особенно важно для жизни растений и животных, в ней растворяются поступающие из воздуха кислород и углекислый газ. Водные животные также выделяют при дыхании углекислый газ, а водоросли в процессе фотосинтеза обогащают воду кислородом.

Физические свойства и химический состав вод океана весьма постоянны и создают среду, благоприятную для жизни. Фотосинтез водорослей происходит главным образом в верхнем слое воды — до 100 м. Поверхность океана в этой толще заполнена микроскопическими одноклеточными водорослями, образующими *микропланктон* (греч. «планктос» — блуждающий).

На океан приходится около 1/3 фотосинтеза, происходящего на всей планете. Водоросли поверхностного слоя океана — трансформаторы энергии солнечного излучения, превращающей ее в энергию химических реакций.

В питании животных океана преимущественное значение имеет планктон. Водорослями и простейшими питаются веслоногие рачки. Рачков поедают сельди и другие рыбы. Сельди идут в пищу хищным рыбам и чайкам. Исключительно планктоном питаются усатые киты.

В океане, кроме планктона и свободноплавающих животных, много организмов, прикрепленных ко дну и ползающих по нему. Население дна носит название *бентоса* (греч. «бентос» — глубинный).

В океане наблюдаются сгущения организмов: планктонное, прибрежное, донное. К живым сгущениям относятся и колонии кораллов, образующие рифы и острова. В основном в океане

биомасса рассеяна. В громадной толще воды плавают рыбы, морские млекопитающие, кальмары.

В океане, особенно на дне его, распространены бактерии, превращающие органические остатки в неорганические вещества. Отмершие организмы медленно оседают на дно океана. Многие из них покрыты кремневыми или известковыми оболочками, а также известковыми раковинами. На дне океана они образуют осадочные породы. Так, на месте моря, покрывавшего 100 млн. лет назад Центральную Европу, находят в земле известняки, мел. В нем можно рассмотреть микроскопические раковины древнейших животных (корненожки и др.).

В Мировом океане живой биомассы в 1000 раз меньше, чем на суше. Использование энергии солнечного излучения на площади океана — 0,04%, на суше — 0,1%. Океан не так богат жизнью, как недавно еще предполагали.

В настоящее время в ряде стран решается проблема добычи из океана пресной воды, металлов и более полного использования его пищевых ресурсов с охраной наиболее ценных животных.

Гидросфера оказывает мощное влияние на всю биосферу. Суточные и сезонные колебания нагревания поверхности суши и океана вызывают циркуляцию тепла и влаги в атмосфере и влияют на климат и круговороты веществ во всей биосфере.

Добыча нефти в морях, перевозка ее в танкерах и другие виды деятельности человека приводят к загрязнению Мирового океана и сокращению его биомассы. Необходимо соблюдение мер охраны вод от загрязнений.

**Воздействие человека на биомассу планеты.** Человечество представляет собой небольшую биомассу в биосфере, но оно оказывает на нее грандиозное воздействие. Масштабы деятельности человечества расширяются благодаря постоянно растущей численности людей, стремительному ускорению научно-технического воздействия на природную среду.

В процессе природопользования человечество ежегодно перемещает на нашей планете более 4 трлн. т вещества, создает тысячи новых химических соединений, большинство из которых не включается в круговорот веществ и в конечном счете накапливается в биосфере, вызывая ее загрязнение. В результате промышленной деятельности происходит загрязнение природной среды, сокращение уровня солнечной радиации над крупными географическими регионами.

В развитии биосферы наступил такой период, когда человек должен планировать свою хозяйственную деятельность таким образом, чтобы она не нарушала сложившиеся в этой гигантской экосистеме закономерности, не способствовала сокращению биомассы.



1. Охарактеризуйте биомассу суши.
2. Что составляет биомассу почвы?
3. Как распределена биомасса в Мировом океане? 4. Какое влияние оказывает деятельность человечества на биомассу Земли?

## 30. Круговорот веществ и превращения энергии в биосфере

**Круговорот веществ.** Основной биологический круговорот веществ, создавший биосферу и определяющий ее устойчивость и целостность, связан с жизнедеятельностью всей биомассы планеты в целом.

Зеленые растения, поглощая световую энергию Солнца, создают из неорганических веществ органические вещества — первичную продукцию для животных, грибов, бактерий всей планеты. Животные превращают первичную растительную продукцию во вторичную — животную. Бактерии и грибы разрушают первичную растительную и вторичную животную продукцию до минеральных веществ.

Основу биологического круговорота, обеспечивающего жизнь на Земле, составляют энергия Солнца и хлорофилл зеленых растений. Все остальные круговороты связаны с биологическим и способствуют ему **45**.

Во всяком биогеоценозе взаимоотношения между популяциями разных видов очень сложны и противоречивы. Животные и растения связаны цепями питания друг с другом и постоянным обменом веществ с окружающей неживой природой (свет, вода, тепло, воздух, химические элементы). Тем самым они включаются в круговороты веществ, происходящие в каждом биогеоценозе и во всей биосфере.

В биосфере все время совершаются круговороты воды и всех элементов, входящих в состав живых организмов. Процесс этот длится десятки миллионов лет. «На земной поверхности нет химической силы, более постоянно действующей, а потому и более могущественной по своим конечным последствиям, чем живые организмы, взятые в целом» (Вернадский).

В круговороте веществ живое вещество, или биомасса, выполняет биогеохимические функции: газовую, концентрационную, окислительно-восстановительную и биохимическую.

*Газовая функция* осуществляется зелеными растениями, которые в процессе фотосинтеза выделяют кислород, а также растениями и животными, которые при дыхании выделяют углекислый газ, многими бактериями, восстанавливающими азот, сероводород и др.

*Концентрационная функция* проявляется в «захвате» живым веществом химических элементов (водорода, углерода, азота, кислорода, натрия, марганца, магния, алюминия, фосфора, кремния, калия, кальция, серы, железа) и накоплении отдельными видами иода, радия и др.

*Окислительно-восстановительная функция* проявляется в окислении веществ с помощью организмов в почвах и гидросфере с образованием солей, оксидов и других соединений, в восстанов-

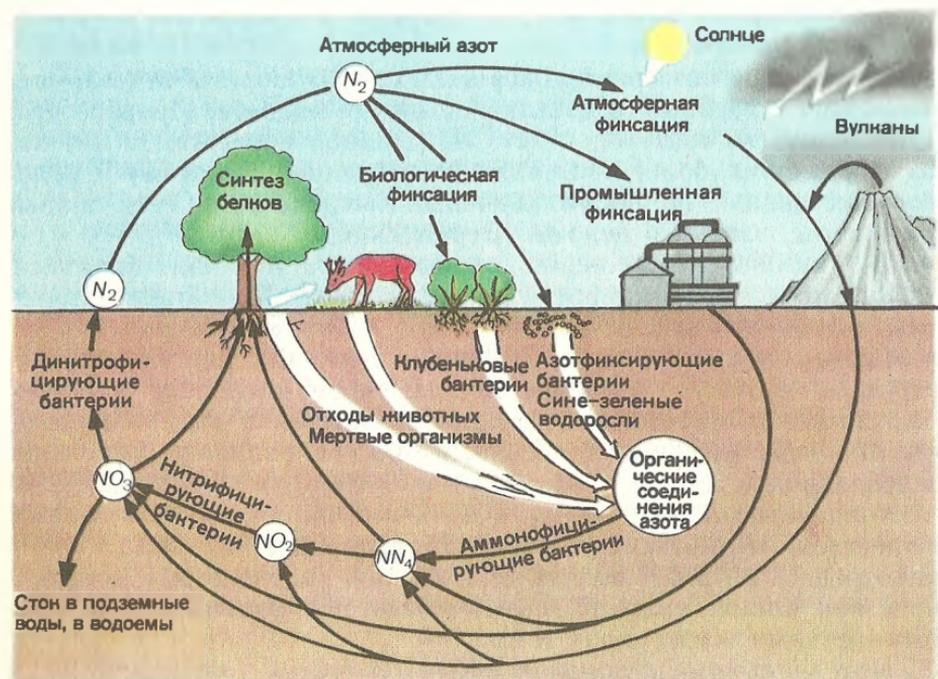
лении веществ (сероводород, серное железо и др.). В результате деятельности бактерий в земной коре образовались отложения известняков, бокситов, руды и др.

*Биохимическая функция* связана: с питанием, дыханием и размножением; с разрушением и гниением отмерших организмов. Все эти функции проявляются в биогенной миграции атомов.

Особое место занимает функция человеческой деятельности и созданный ею круговорот выделяемых и поглощаемых промышленностью химических элементов.

**Биогенная миграция атомов.** В биосфере совершается постоянный круговорот активных элементов, переходящих из организма в организм, в неживую природу и снова в организм. Это биогенная миграция, отличающаяся от происходящих на Земле физико-химических перемещений в водной среде (растворение элементов, передвижение растворов в почвенных, грунтовых и поверхностных водах) и атмосфере (передвижение газообразных соединений и паров воды). Элементы, освобожденные микроорганизмами при гниении, поступая в почву и атмосферу, снова включаются в круговорот веществ биосферы, захватываются живыми организмами.

В круговороте веществ биосферы в состав живых организмов входят одни и те же элементы (углерод, азот, водород,



45. Круговорот азота в природе.

кислород, сера). Из неживой природы они переходят в состав растений, из растений — в животных и человека. Атомы переходят из организма в организм и удерживаются в круге жизни сотни миллионов лет, что подтверждают последние данные об изотопах. В состав органических соединений входят определенные изотопы элементов. Из трех изотопов водорода  $^1\text{H}$ ,  $^2\text{H}$ ,  $^3\text{H}$  активным будет первый, вступающий в реакцию в 6 раз быстрее, чем второй. В природе существуют три изотопа кислорода:  $^{16}\text{O}$ ,  $^{17}\text{O}$ ,  $^{18}\text{O}$ . Кислород  $^{16}\text{O}$ , наиболее легкий, входит в состав воды и участвует в фотосинтезе. Известно, что в состав органических веществ входит  $^{12}\text{C}$ , тогда как в неорганических процессах участвует  $^{13}\text{C}$ .

Для биогенной миграции характерно накопление химических элементов в живых организмах, а также их освобождение в результате разложения мертвых организмов. В каждом биогеоценозе можно наблюдать биологический круговорот элементов — аккумуляцию и минерализацию их. Образование живого вещества преобладает над минерализацией на поверхности суши и в верхних горизонтах моря при наличии зеленых растений. Растительный покров земного шара извлекает углерод из углекислого газа атмосферы и гидросферы. Минерализация преобладает в почве и в глубинах моря. Расселение, передвижение организмов (бактерий, спор, семян, насекомых, птиц, рыб и др.) способствуют миграции атомов. Перенос химических элементов производится дальними миграциями птиц, рыб и насекомых. Сложная цепь взаимоотношений растений и животных, передающих друг другу необходимые для жизни элементы, видна во всех биогеоценозах (см. § 25).

Биогенная миграция вызывается тремя процессами жизни: обменом веществ в организмах, ростом и размножением их.

Различают два рода биогенной миграции атомов: первый производят микроорганизмы и второй — многоклеточные организмы. Миграция атомов первого рода превышает миграцию второго. Человечество овладело миграцией атомов третьего рода, идущей под влиянием его деятельности.

**Роль микроорганизмов в круговороте веществ.** Распространенность микроорганизмов в атмосфере, литосфере, гидросфере, быстрота их размножения и жизнедеятельность, влияющие на круговорот веществ, играют колоссальную роль в биосфере.

Споры некоторых бактерий сохраняют жизнеспособность при температуре —  $253^\circ\text{C}$ . Маленькие и легкие микроорганизмы и споры заносятся за пределы тропосферы. Распространение бактерий обусловлено быстротой их размножения. В 1 г бактерий свыше 600 млрд. особей. Потомство одной бактерии при наличии питательных веществ и беспрепятственном размножении за 5 суток заполнило бы Мировой океан. Микроорганизмы в силу своей способности к быстрому размножению обладают громадной генетической изменчивостью и приспособляемостью.

По роду питания и использования энергии различают следующие бактерии: *хемосинтезирующие*, использующие энергию химических соединений (железобактерии, серобактерии, азотобактерии и др.); *бактерии-сапрофиты*, пищей которых служат органические вещества (молочнокислые, маслянокислые, уксуснокислые, гнилостные и др.); *бактерии-паразиты*, питающиеся за счет живых организмов (болезнетворные — туберкулеза, чумы, холеры, тифа и др.). Узкая «специализация» жизнедеятельности бактерий приводит к смене одних бактерий другими. Например, при молочнокислом брожении вначале в молоке в большом количестве присутствуют гнилостные и маслянокислые бактерии; затем по мере накопления молочной кислоты они погибают, не выдерживая высокой кислотности, и на смену им приходят молочнокислые бактерии. Но затем и они, окисляя сахар, погибают в созданной ими среде молочной кислоты. В почве гнилостные бактерии разлагают органические остатки, выделяя аммиак, который другие бактерии превращают в азотистую, а затем в азотную кислоту.

Наряду с накоплением в почве соединений азота нитрифицирующими (аэробными) и другими бактериями в ней происходит и обратный процесс выделения азота в воздух денитрифицирующими (анаэробными) бактериями.

Л. Пастер назвал бактерии «великими могильщиками природы». Ежеминутно умирают миллионы организмов. Разложение при гниении мертвых тел растений и животных — величайший процесс в биосфере, вновь превращающий сложные органические соединения в минеральные. При гниении выделяется в атмосферу большое количество углекислого газа и водорода. Если зеленые растения являются производителями органического вещества, животные — его потребителями, то микроорганизмы в основном его разрушителями. Микроорганизмы принимают большое участие в геохимических процессах и круговоротах веществ в биосфере, а также и в выводе веществ из круговорота и откладывании залежей их в земной коре.

**Биосфера и превращение энергии.** Живое вещество Земли не только зависит от условий жизни, но и само охватывает и перестраивает все химические процессы биосферы, в которой одновременно происходят поступление и потеря энергии. Энергетический баланс Земли складывается из различных источников. Главнейшие из них — солнечная и радиоактивная энергия. В ходе эволюции Земли радиоактивное вещество распадалось и 3 млрд. лет назад радиоактивной теплоты было в 18 раз больше. Тепло лучей Солнца, падающее на Землю, теперь значительно превосходит внутреннюю теплоту от радиоактивного распада.

Главнейшую роль в жизни на Земле играет непрерывно поступающий поток энергии Солнца:  $10,5 \cdot 10^{20}$  кДж/год ( $2,5 \cdot 10^{20}$  ккал/год), 42% энергии Солнца отражается Землей в мировое пространство, 58% поглощается атмосферой и почвой.

Из этого количества Землей излучается более 20%, а 10% расходуется на испарение воды с поверхности Мирового океана. Падающая на Землю солнечная энергия аккумулируется зелеными растениями и поступает с ними в другие организмы.

Зеленые растения земного шара образуют в год около 100 млрд. т органических веществ, содержащих около  $1,8 \cdot 10^{18}$  кДж ( $45 \cdot 10^{17}$  ккал) энергии. При этом они поглощают около  $1,7 \cdot 10^8$  т углекислого газа, выделяют около  $11,5 \cdot 10^7$  т кислорода и испаряют  $1,6 \cdot 10^{13}$  т воды. Солнце, его световые лучи — источник энергии на Земле, которая трансформируется в процессе фотосинтеза растениями, образующими органические вещества и освобождающими кислород. Образование органических веществ — эндотермический процесс, окисление их — экзотермический. Наряду с фотосинтезом в зеленых растениях на Земле происходит почти равное ему по масштабу окисление органических веществ в процессе дыхания, брожения и гниения с выделением теплоты, воды и углекислого газа. Частично энергия Солнца консервировалась в земной коре в остатках организмов: каменном угле, нефти, сапропеле (иле) и торфе.

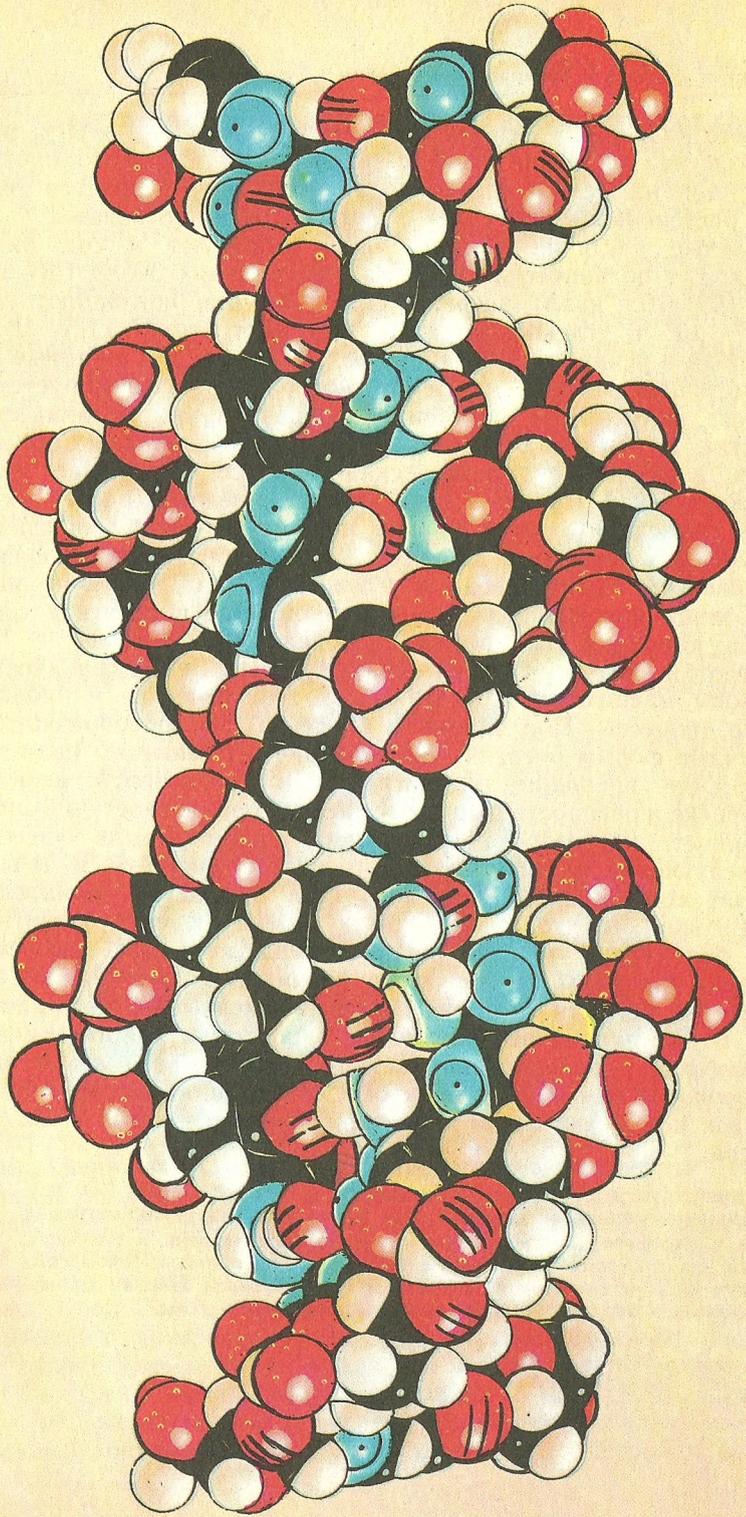
Энергия излучения Солнца возбуждает на Земле грандиозные по своим масштабам климатические, геологические и биологические процессы. Под влиянием биосферы она преобразуется в различные формы энергии, вызывающие огромные по размерам и скорости превращения, миграции и круговороты веществ, увеличение и распространение биомассы. Грандиозность и взаимосвязанность круговорота веществ на планете Земля очевидна из следующего расчета. Без фотосинтеза растений в течение 100 лет содержание углекислого газа в воздухе значительно увеличилось бы, что привело бы к гибели людей и животных.

В биосфере в течение более 2 млрд. лет идут изменения. Границы биосферы расширяются, проникая в новые, ранее безжизненные области планеты. Биосфера охватывает весь земной шар. В нее входят все различные экосистемы (биогеоценозы).

*Биосфера — грандиозная система всего живого вещества и круговоротов химических элементов на Земле, но система открытая, так как в нее извне постоянно вливается поток солнечной энергии.*

1. Начертите по выбору схему круговорота в биосфере:  $H_2O$ ,  $CO_2$  или  $O_2$ , пользуясь учебником химии.
2. Как происходит биогенная миграция атомов в биосфере?
3. Расскажите о поступлении энергии в биосферу.
4. Какое значение имеет круговорот веществ для существования биосферы?
5. Какую роль в круговороте веществ и использовании энергии солнечного излучения играют растения, животные, микроорганизмы?





### 31. Клеточная теория

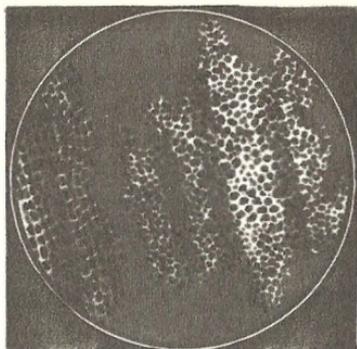
**Цитология** — наука о клетке. Наука о клетке называется цитологией (греч. «цитос» — клетка, «логос» — наука). Предмет цитологии — клетки многоклеточных животных и растений, а также одноклеточных организмов, к числу которых относятся бактерии, простейшие и одноклеточные водоросли. Цитология изучает строение и химический состав клеток, функции внутриклеточных структур, функции клеток в организме животных и растений, размножение и развитие клеток, приспособления клеток к условиям окружающей среды. Современная цитология — наука комплексная. Она имеет самые тесные связи с другими биологическими науками, например с ботаникой, зоологией, физиологией, учением об эволюции органического мира, а также с молекулярной биологией, химией, физикой, математикой.

Цитология — одна из относительно молодых биологических наук, ее возраст около 100 лет. Возраст же термина «клетка» насчитывает свыше 300 лет. Впервые название «клетка» в середине XVII в. применил Роберт Гук 46. Рассматривая тонкий срез пробки с помощью сконструированного им микроскопа, Гук увидел, что пробка состоит из ячеек — клеток.

После работ Роберта Гука микроскоп стал широко применяться для научных исследований в биологии. Были открыты одноклеточные организмы (Антон Левенгук, 1680); клетки были обнаружены в составе тканей многих животных и растений.

**Клеточная теория.** В середине XIX столетия на основе уже многочисленных знаний о клетке Т. Шванн сформулировал клеточную теорию (1838). Он обобщил имевшиеся знания о клетке и показал, что клетка представляет основную единицу строения всех живых организмов, что клетки животных и растений сходны по своему строению. Эти положения явились важнейшими доказательствами единства происхождения всех живых организмов, единства всего органического мира. Т. Шванн внес в науку правильное понимание клетки как самостоятельной единицы жизни, наименьшей единицы живого: вне клетки нет жизни.

Клеточная теория — одно из выдающихся обобщений биоло-



46. Рисунок Р. Гука. Срез пробки с ячейками — «клетками».

гии прошлого столетия, давшее основу для материалистического подхода к пониманию жизни, к раскрытию эволюционных связей между организмами. Клеточную теорию высоко оценил Ф. Энгельс, сравнив ее появление с открытием закона сохранения энергии и учением Ч. Дарвина об эволюции органического мира.

Клеточная теория получила дальнейшее развитие в трудах ученых второй половины прошлого столетия. Было открыто деление клеток и сформулировано положение о том, что каждая новая клетка происходит от такой же исходной клетки путем ее деления (Рудольф Вихров, 1858). Академик Российской Академии наук Карл Бэр открыл яйцеклетку млекопитающих и установил, что все многоклеточные организмы начинают свое развитие из одной клетки и этой клеткой является зигота. Открытие К. Бэра показало, что клетка — не только единица строения, но и единица развития всех живых организмов.

Изучение химической организации клетки привело к выводу, что именно химические процессы лежат в основе ее жизни, что клетки всех организмов сходны по химическому составу, у них однотипно протекают основные процессы обмена веществ. Данные о сходстве химического состава клеток еще раз подтвердили единство всего органического мира.

Клеточная теория сохранила свое значение и в настоящее время. Она была неоднократно проверена и дополнена многочисленными материалами о строении, функциях, химическом составе, размножении и развитии клеток разнообразных организмов.

Современная клеточная теория включает следующие положения:

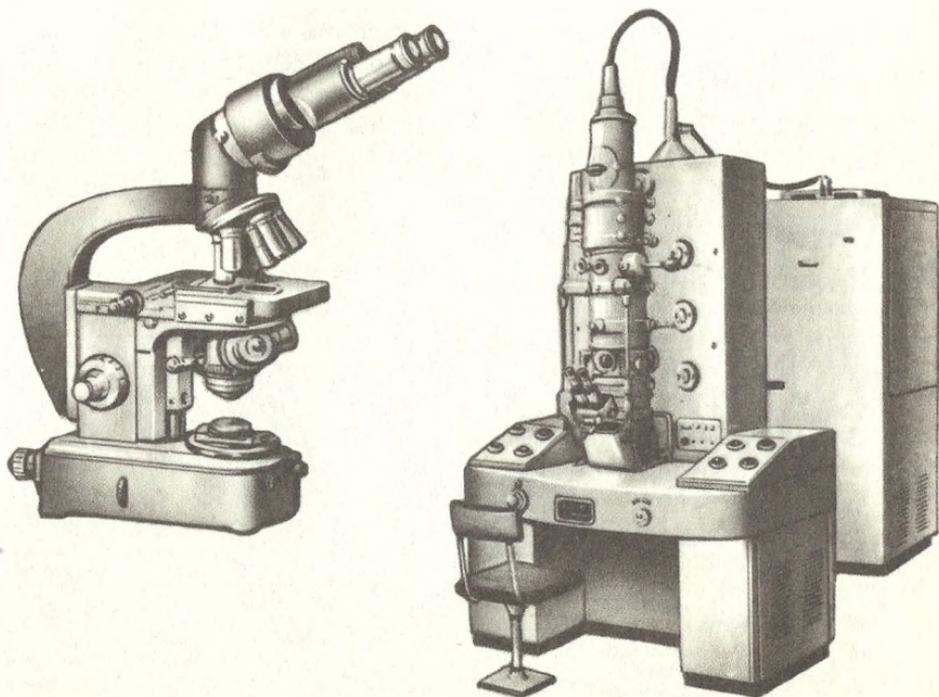
клетка — основная единица строения и развития всех живых организмов, наименьшая единица живого;

клетки всех одноклеточных и многоклеточных организмов сходны (гомологичны) по своему строению, химическому составу, основным проявлениям жизнедеятельности и обмену веществ; размножение клеток происходит путем их деления, и каждая

новая клетка образуется в результате деления исходной (материнской) клетки;

в сложных многоклеточных организмах клетки специализированы по выполняемой ими функции и образуют ткани; из тканей состоят органы, которые тесно связаны между собой и подчинены нервным и гуморальным системам регуляции.

Исследования клетки имеют большое значение для разгадки заболеваний. Именно в клетках начинают развиваться патологические изменения, приводящие к возникновению заболеваний. Чтобы понять роль клеток в развитии заболеваний, приведем несколько примеров. Одно из серьезных заболеваний человека — сахарный диабет. Причина этого заболевания — недостаточная деятельность группы клеток поджелудочной железы, вырабатывающих гормон инсулин, который участвует в регуляции сахарного обмена организма. Злокачественные изменения, приводящие к развитию раковых опухолей, возникают также на уровне клеток. Возбудители кокцидиоза — опасного заболевания кроликов, кур, гусей и уток — паразитические простейшие — кокцидии проникают в клетки кишечного эпителия и печени, растут и размножаются в них, полностью нарушают обмен веществ, а затем разрушают эти клетки. У больных кокцидиозом животных сильно нарушается деятельность пищеварительной системы и при отсутствии лечения животные погибают. Вот почему изучение строе-



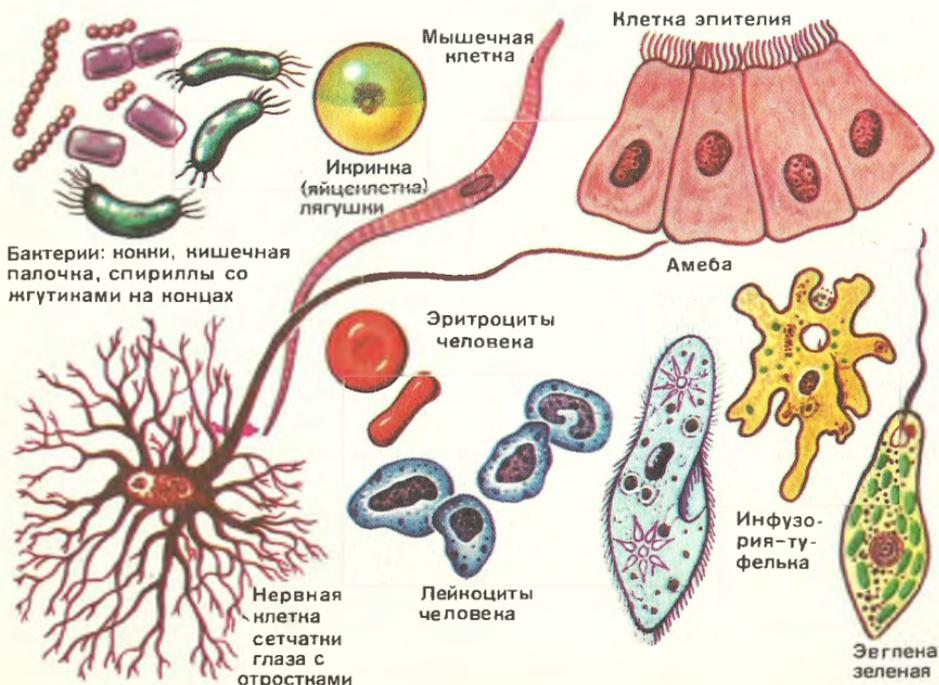
47. Современные световой (слева) и электронный (справа) микроскопы.

ния, химического состава, обмена веществ и всех проявлений жизнедеятельности клеток необходимо не только в биологии, но также в медицине и ветеринарии.

Изучение клеток разнообразных одноклеточных и многоклеточных организмов с помощью светооптического и электронного микроскопов [47] показало, что по своему строению они разделяются на две группы. Одну группу составляют бактерии и сине-зеленые водоросли [48]. Эти организмы имеют наиболее простое строение клеток. Их называют *доядерными* (*прокариотическими*), так как у них нет оформленного ядра (греч. «карион» — ядро) и нет многих структур, которые называют *органоидами*. Другую группу составляют все остальные организмы: от одноклеточных зеленых водорослей и простейших до высших цветковых растений, млекопитающих, в том числе и человека. Они имеют сложно устроенные клетки, которые называют *ядерными* (*эукариотическими*). Эти клетки имеют ядро и органоиды, выполняющие специфические функции [48].

Особую, неклеточную форму жизни составляют вирусы, изучением которых занимается вирусология.

- ? 1. Что изучает цитология? 2. Когда и кем была создана клеточная теория?  
3. Раскройте основные положения клеточной теории.



48. Различные формы клеток одноклеточных и многоклеточных организмов.

## 32. Строение и функции оболочки клетки

Клетка любого организма представляет собой целостную живую систему. Она состоит из трех неразрывно связанных между собой частей: оболочки, цитоплазмы и ядра. Оболочка клетки осуществляет непосредственное взаимодействие с внешней средой и взаимодействие с соседними клетками (в многоклеточных организмах).

**Оболочка клеток.** Оболочка клеток имеет сложное строение. Она состоит из наружного слоя и расположенной под ним плазматической мембраны. Клетки животных и растений различаются по строению их наружного слоя. У растений, а также у бактерий, сине-зеленых водорослей и грибов на поверхности клеток расположена плотная оболочка, или клеточная стенка. У большинства растений она состоит из клетчатки.

Клеточная стенка играет исключительно важную роль: она представляет собой внешний каркас, защитную оболочку, обеспечивает тургор растительных клеток; через клеточную стенку проходит вода, соли, молекулы многих органических веществ.

Наружный слой поверхности клеток животных в отличие от клеточных стенок растений очень тонкий, эластичный. Он не виден в световой микроскоп и состоит из разнообразных полисахаридов и белков. Поверхностный слой животных клеток получил название *гликокаликс*.

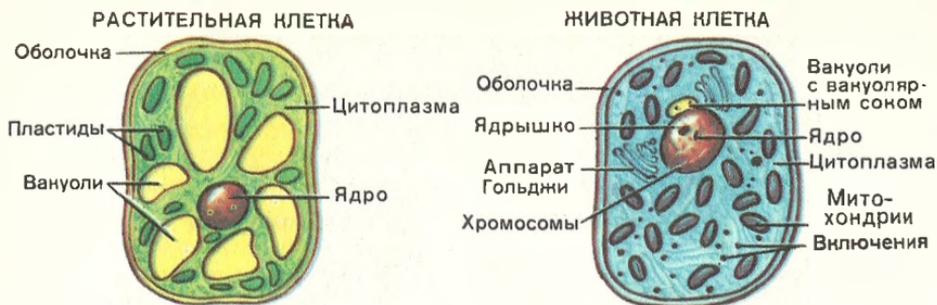
Гликокаликс выполняет прежде всего функцию непосредственной связи клеток животных с внешней средой, со всеми окружающими ее веществами. Имея незначительную толщину (меньше 1 мкм), наружный слой клетки животных не выполняет опорной роли, какая свойственна клеточным стенкам растений. Образование гликокаликса, так же как и клеточных стенок растений, происходит благодаря жизнедеятельности самих клеток.

**Плазматическая мембрана.** Под гликокаликсом и клеточной стенкой растений расположена *плазматическая мембрана* (лат. «мембрана» — кожа, пленка), граничащая непосредственно с цитоплазмой. Толщина плазматической мембраны около 10 нм, изучение ее строения и функций возможно только с помощью электронного микроскопа.

В состав плазматической мембраны входят белки и липиды. Они упорядоченно расположены и соединены друг с другом химическими взаимодействиями. По современным представлениям молекулы липидов в плазматической мембране расположены в два ряда и образуют сплошной слой. Молекулы белков не образуют сплошного слоя, они располагаются в слое липидов, погружаясь в него на разную глубину, как это показано на рисунке.

Молекулы белка и липидов подвижны, что обеспечивает динамичность плазматической мембраны.

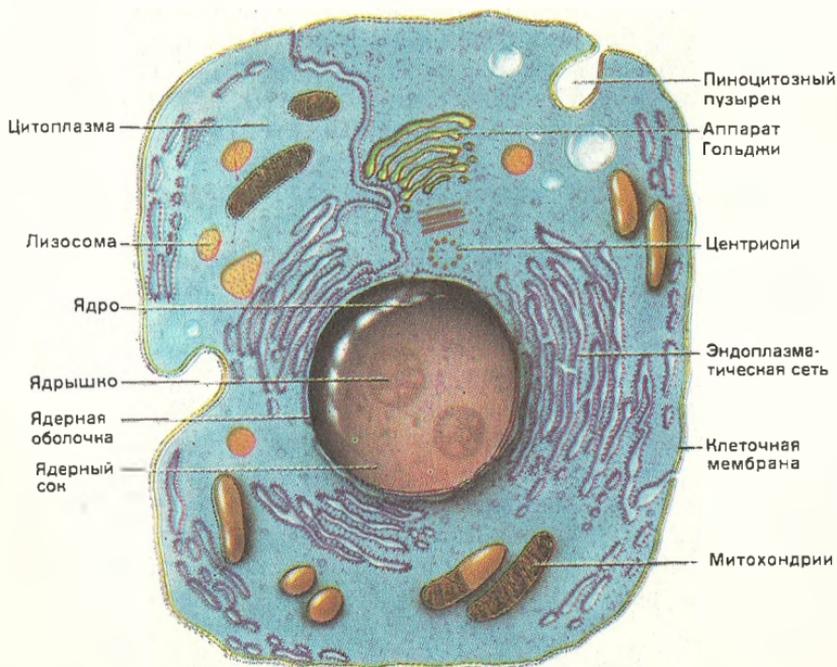
Плазматическая мембрана выполняет много важных функций,



#### 49. Схемы строения клеток по данным светового микроскопа.

от которых зависит жизнедеятельность клеток. Одна из таких функций заключается в том, что она образует барьер, ограничивающий внутреннее содержимое клетки от внешней среды. Но между клетками и внешней средой постоянно происходит обмен веществ. Из внешней среды в клетку поступает вода, разнообразные соли в форме отдельных ионов, неорганические и органические молекулы. Они проникают в клетку через очень тонкие каналы плазматической мембраны. Во внешнюю среду выводятся продукты, образованные в клетке. Транспорт веществ — одна из главных функций плазматической мембраны.

Через плазматическую мембрану из клетки выводятся продук-



#### 50. Схема строения животной клетки по данным электронного микроскопа.

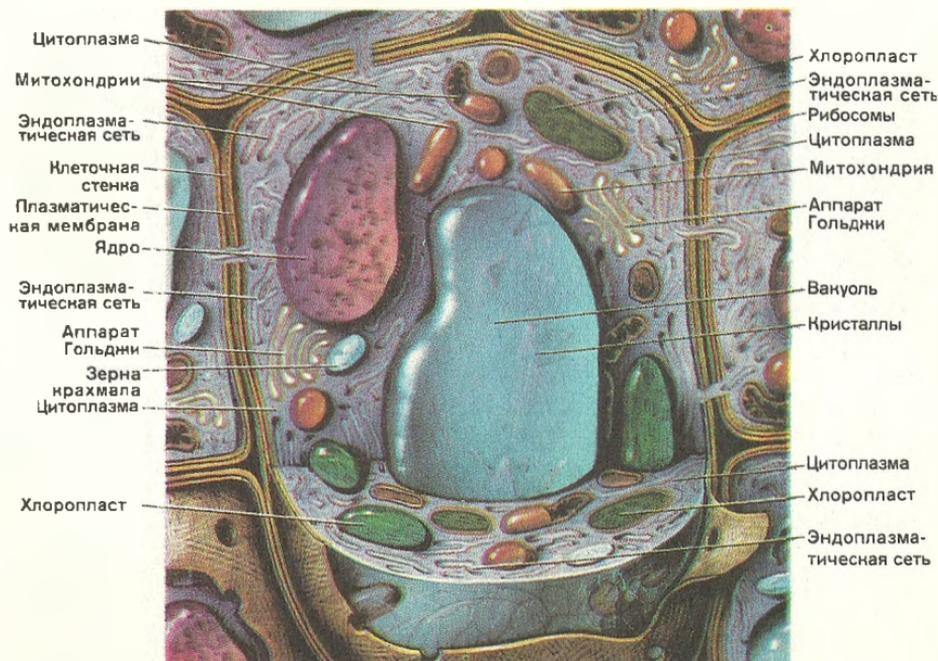
ты обмена, а также вещества, синтезированные в клетке. К числу их относятся разнообразные белки, углеводы, гормоны, которые вырабатываются в клетках различных желез и выводятся во внеклеточную среду в форме мелких капель.

Клетки, образующие у многоклеточных животных разнообразные ткани (эпителиальную, мышечную и др.), соединяются друг с другом плазматической мембраной. В местах соединения двух клеток мембрана каждой из них может образовывать складки или выросты, которые придают соединениям особую прочность **53**.

Соединение клеток растений обеспечивается путем образования тонких каналов, которые заполнены цитоплазмой и ограничены плазматической мембраной. По таким каналам, проходящим через клеточные оболочки, из одной клетки в другую поступают питательные вещества, ионы, углеводы и другие соединения.

На поверхности многих клеток животных, например различных эпителиев, находятся очень мелкие тонкие выросты цитоплазмы, покрытые плазматической мембраной, — микроворсинки. Наибольшее количество микроворсинок находится на поверхности клеток кишечника, где происходит интенсивное переваривание и всасывание переваренной пищи.

**Фагоцитоз.** Крупные молекулы органических веществ, например белков и полисахаридов, частицы пищи, бактерии поступают



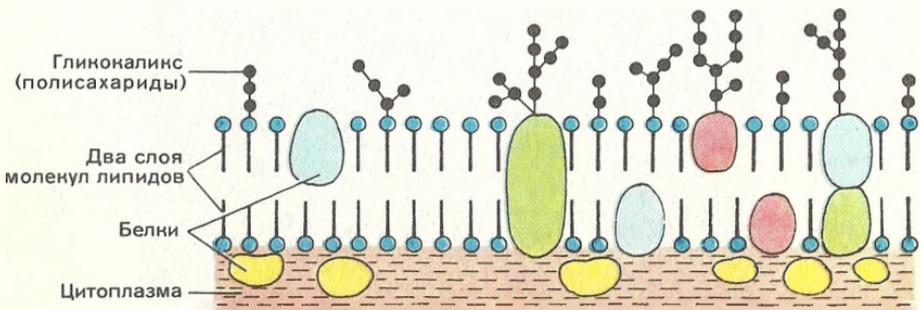
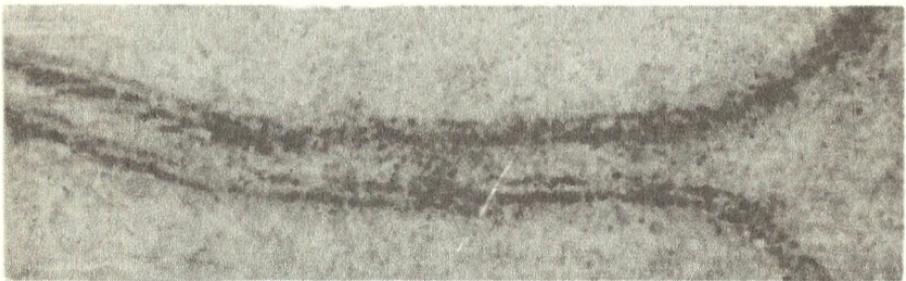
**51. Схема строения растительной клетки по данным электронного микроскопа.**

в клетку путем фагоцитоза (греч. «фагео» — пожирать). В фагоцитозе непосредственное участие принимает плазматическая мембрана **54**. В том месте, где поверхность клетки соприкасается с частицей какого-либо плотного вещества, мембрана прогибается, образует углубление и окружает частицу, которая в «мембранной упаковке» погружается внутрь клетки. Образуется пищеварительная *вакуоль* и в ней перевариваются поступившие в клетку органические вещества.

Фагоцитоз широко распространен в мире животных. Путем фагоцитоза питаются амебы, инфузории и многие другие простейшие. У позвоночных животных и человека к активному фагоцитозу способны только немногие клетки, например лейкоциты. Эти клетки поглощают бактерии, а также разнообразные твердые частички, случайно попавшие в организм, защищая его таким образом от болезнетворных микроорганизмов и посторонних частиц. Клеточная стенка растений, бактерий и сине-зеленых водорослей препятствует фагоцитозу и потому этот путь поступления веществ в клетку у них практически отсутствует.

**Пиноцитоз.** Через плазматическую мембрану в клетку проникают и капли жидкости, содержащие в растворенном и взвешенном состоянии разнообразные вещества.

Поглощение жидкости в виде мелких капель напоминает питье, и это явление было вызвано пиноцитозом (греч. «пино» —

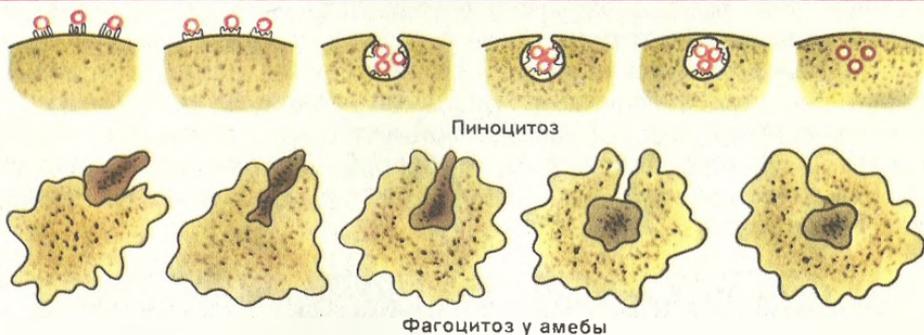


**52. Строение плазматической мембраны [электронно-микроскопическая фотография — сверху].**



**53. Электронно-микроскопическая фотография мембран двух соседних клеток.**

Видны складки и выросты наружной мембраны, увеличивающие прочность соединения клеток. Увел. 30 000.



Пиноцитоз

Фагоцитоз у амёбы

**54. Схема пиноцитоза. Фагоцитоз у амёбы.**

пью). Процесс поглощения жидкости сходен с фагоцитозом. Капля жидкости **54** погружается в цитоплазму в «мембранной упаковке». Органические вещества, попавшие в клетку вместе с водой, начинают перевариваться под влиянием ферментов, содержащихся в цитоплазме.

Пиноцитоз широко распространен в природе и осуществляется клетками животных, растений, грибов, бактерий и сине-зеленых водорослей.

Процессы фаго- и пиноцитоза, транспорт ионов и молекул происходит с затратой энергии, которая образуется в клетке (с. 167).

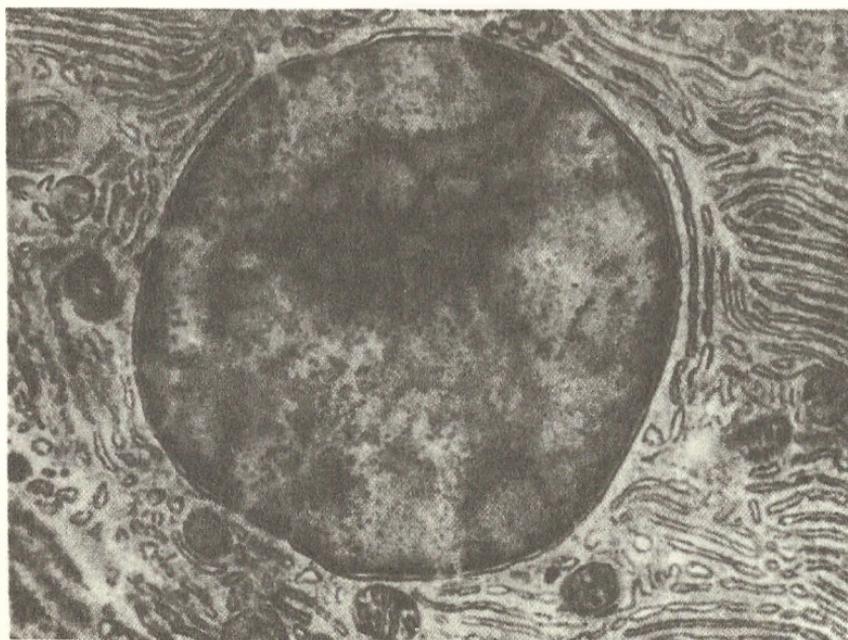
1. Сравните строение оболочки растительных и животных клеток. 2. Как происходит поступление веществ в клетку? 3. Каковы основные функции гликокаликса, клеточной стенки и плазматической мембраны?



### 33. Цитоплазма и ее органоиды: эндоплазматическая сеть, митохондрии и пластиды

**Цитоплазма.** Отграниченная от внешней среды плазматической мембраной, *цитоплазма* представляет собой внутреннюю полужидкую среду клеток. В цитоплазме эукариотических клеток располагаются ядро и различные органоиды. Ядро располагается в центральной части цитоплазмы. В ней сосредоточены и разнообразные включения — продукты клеточной деятельности, вакуоли, а также мельчайшие трубочки и нити, образующие скелет клетки. В составе основного вещества цитоплазмы преобладают белки. В цитоплазме протекают основные процессы обмена веществ, она объединяет в одно целое ядро и все органоиды, обеспечивает их взаимодействие, деятельность клетки как единой целостной живой системы.

**Эндоплазматическая сеть.** Вся внутренняя зона цитоплазмы заполнена многочисленными мелкими каналами и полостями, стенки которых представляют собой мембраны, сходные по своей структуре с плазматической мембраной. Эти каналы ветвятся, соединяются друг с другом и образуют сеть, получившую название *эндоплазматической сети* ■■■, ■■■ .



55. Электронно-микроскопическая фотография ядра и участка эндоплазматической сети, расположенной в цитоплазме.

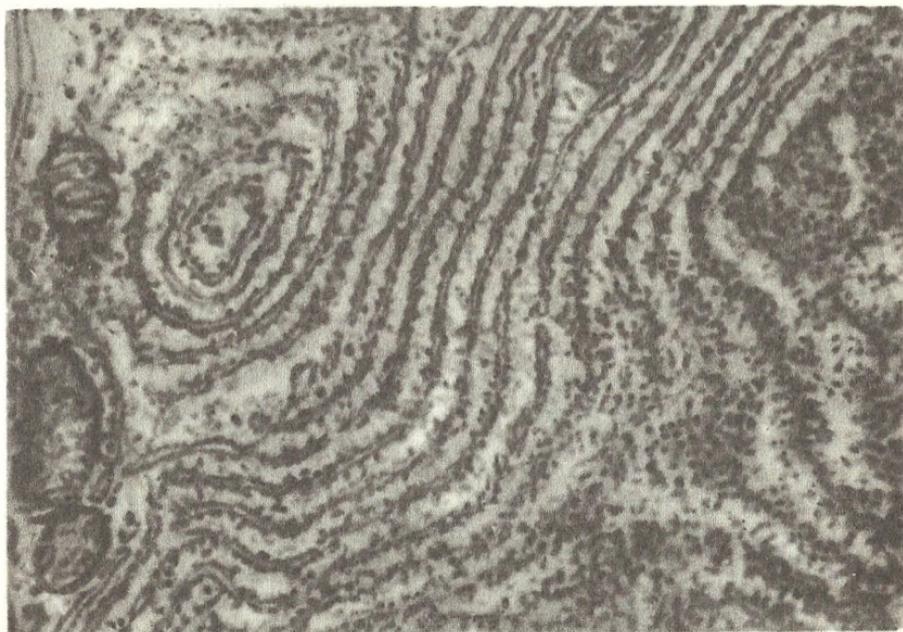
Видны каналы и более крупные полости эндоплазматической сети, митохондрии овальной формы. Видны также ядерная оболочка с порами, ядерный сок, ядрышко. Увел. 20 000.

Эндоплазматическая сеть неоднородна по своему строению. Известны два ее типа — гранулярная [11] и гладкая [12]. На мембранах каналов и полостей гранулярной сети располагается множество мелких округлых телец — *рибосом* [13], которые придают мембранам шероховатый вид. Мембраны гладкой эндоплазматической сети не несут рибосом на своей поверхности.

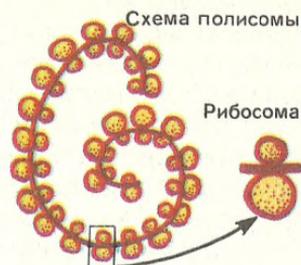
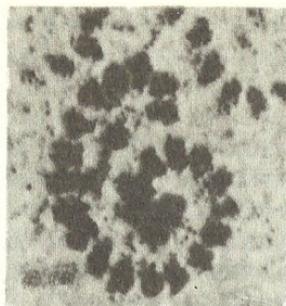
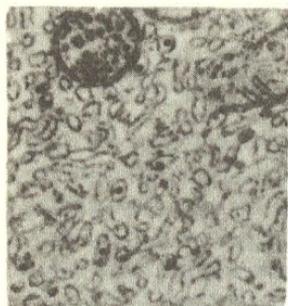
Эндоплазматическая сеть выполняет много разнообразных функций. Основная функция гранулярной эндоплазматической сети — участие в синтезе белка, который осуществляется в рибосомах.

На мембранах гладкой эндоплазматической сети происходит синтез липидов и углеводов. Все эти продукты синтеза накапливаются в каналах и полостях, а затем транспортируются к различным органоидам клетки, где потребляются или накапливаются в цитоплазме в качестве клеточных включений. Эндоплазматическая сеть связывает между собой основные органоиды клетки [14].

**Рибосомы.** Рибосомы обнаружены в клетках всех организмов. Это микроскопические тельца округлой формы диаметром 15—20 нм. Каждая рибосома состоит из двух неодинаковых по размерам частиц, малой и большой, как это показано на рисунке [15].



56 Электронно-микроскопическая фотография гранулярной эндоплазматической сети с рибосомами (округлые темные тельца) на поверхности ее мембран. Увел. 70 000.



57. Гладкая эндоплазматическая сеть. 58. Электронно-микроскопическая фотография полисомы и схема полисомы и рибосомы.

В одной клетке содержится много тысяч рибосом, они располагаются либо на мембранах гранулярной эндоплазматической сети, либо свободно лежат в цитоплазме **56**.

В состав рибосом входят белки и РНК.

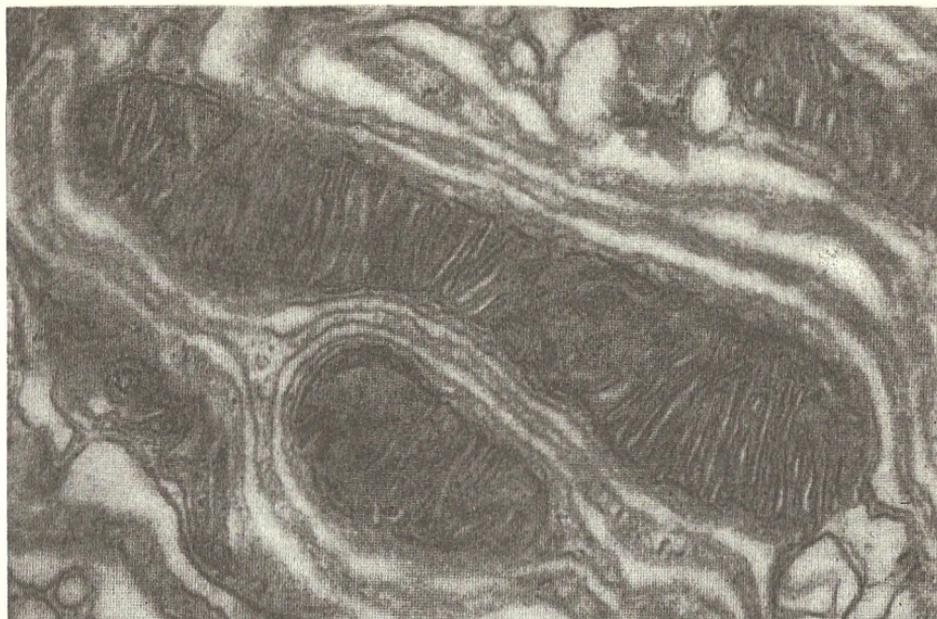
Функция рибосом — это синтез белка. Синтез белка — сложный процесс, который осуществляется не одной рибосомой, а целой группой, включающей до нескольких десятков объединенных рибосом. Такую группу рибосом называют полисомой **58**.

Синтезированные белки сначала накапливаются в каналах и полостях эндоплазматической сети, а затем транспортируются к органоидам и участкам клетки, где они потребляются. Эндоплазматическая сеть и рибосомы, расположенные на ее мембранах, представляют собой единый аппарат биосинтеза и транспортировки белков.

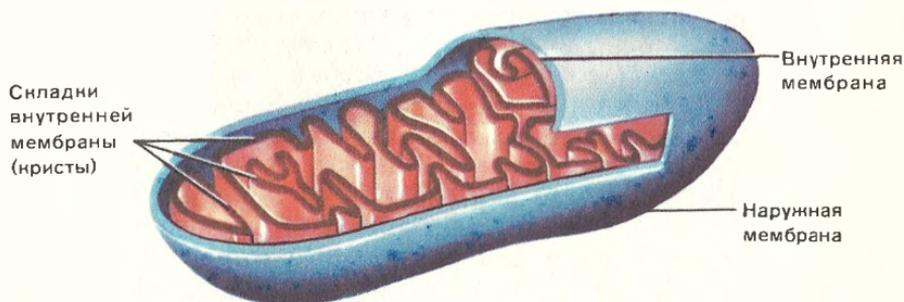
**Митохондрии.** В цитоплазме большинства клеток животных и растений содержатся мелкие тельца (0,2—7 мкм) — митохондрии (греч. «митос» — нить, «хондрион» — зерно, гранула; **59**, **60**).

Митохондрии хорошо видны в световой микроскоп, с помощью которого можно рассмотреть их форму, расположение, сосчитать количество. Внутреннее строение митохондрий изучено с помощью электронного микроскопа **60**. Как видно на рисунке, оболочка митохондрии состоит из двух мембран — наружной и внутренней. Наружная мембрана гладкая, она не образует никаких складок и выростов. Внутренняя мембрана, напротив, образует многочисленные складки, которые направлены в полость митохондрии **60**. Складки внутренней мембраны называют кристами (лат. «криста» — гребень, вырост). Число крист неодинаково в митохондриях разных клеток. Их может быть от нескольких десятков до нескольких сотен, причем особенно много крист в митохондриях активно функционирующих клеток, например мышечных.

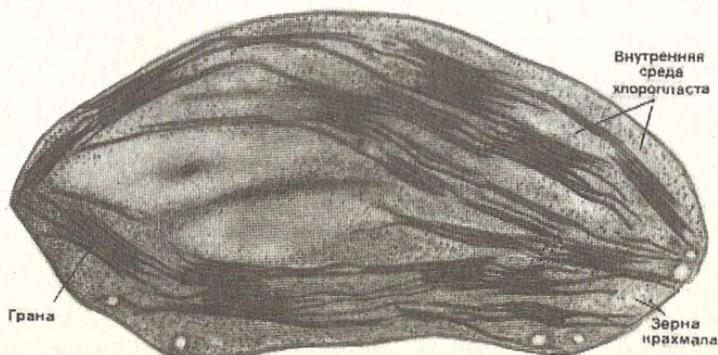
Митохондрии называют «силовыми станциями» клеток, так как их основная функция — синтез аденозинтрифосфорной кислоты (АТФ). Эта кислота синтезируется в митохондриях клеток



59. Электронно-микроскопическая фотография митохондрии.  
Видны наружная и внутренняя мембраны и кристы. Увел. 40 000.



60. Схема строения митохондрии по данным электронного микроскопа.



61. Электронно-микроскопическая фотография хлоропласта. Увел. 40 000.

всех организмов и представляет собой универсальный источник энергии, необходимый для осуществления процессов жизнедеятельности клетки и целого организма.

Новые митохондрии образуются делением уже существующих в клетке митохондрий.

**Пластиды.** В цитоплазме клеток всех растений находятся пластиды. В клетках животных пластиды отсутствуют. Различают три основных типа пластид: зеленые — хлоропласты; красные, оранжевые и желтые — хромопласты; бесцветные — лейкопласты.

**Хлоропласты.** Эти органоиды содержатся в клетках листьев и других зеленых органов растений, а также у разнообразных водорослей. Размеры хлоропластов 4—6 мкм, наиболее часто они имеют овальную форму. У высших растений в одной клетке обычно бывает несколько десятков хлоропластов. Зеленый цвет хлоропластов зависит от содержания в них пигмента хлорофилла. Хлоропласт — основной органоид клеток растений, в котором происходит фотосинтез, т. е. образование органических веществ (углеводов) из неорганических ( $\text{CO}_2$  и  $\text{H}_2\text{O}$ ) при использовании энергии солнечного света.

По строению хлоропласты сходны с митохондриями. От цитоплазмы хлоропласт ограничен двумя мембранами — наружной и внутренней **61**. Наружная мембрана гладкая, без складок и выростов, а внутренняя образует много складчатых выростов, направленных внутрь хлоропласта. Поэтому внутри хлоропласта сосредоточено большое количество мембран, образующих особые структуры — граны. Они сложены наподобие стопки монет **61**.

В мембранах гран располагаются молекулы хлорофилла, потому именно здесь происходит фотосинтез. В хлоропластах синтезируется и АТФ. Между внутренними мембранами хлоропласта содержатся ДНК, РНК и рибосомы. Следовательно, в хлоропластах, так же как и в митохондриях, происходит синтез белка, необходимого для деятельности этих органоидов. Хлоропласты размножаются делением.

**Хромопласты** находятся в цитоплазме клеток разных частей растений: в цветках, плодах, стеблях, листьях. Присутствием хромопластов объясняется желтая, оранжевая и красная окраска венчиков цветков, плодов, осенних листьев.

**Лейкопласты** бесцветны. Они содержатся в цитоплазме неокрашенных частей растений, например в стеблях, корнях, клубнях. Форма лейкопластов разнообразна. Примером широко распространенных лейкопластов могут служить лейкопласты клубней картофеля, в которых накапливаются зерна крахмала.

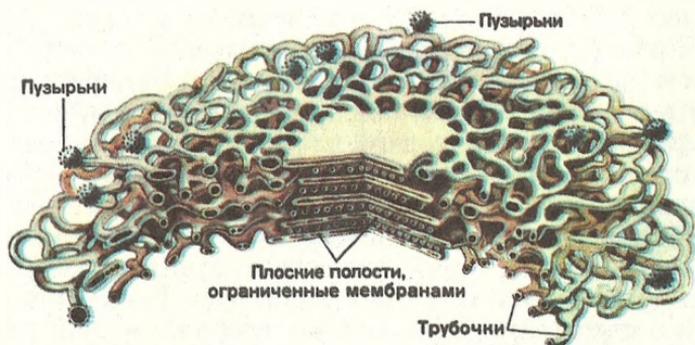
Хлоропласты, хромопласты и лейкопласты способны к взаимному переходу. Так, при созревании плодов или изменении окраски листьев осенью хлоропласты превращаются в хромопласты, а лейкопласты могут превращаться в хлоропласты, например, при позеленении клубней картофеля.

- ? 1. На рисунке 50 найдите органоиды, расположенные в цитоплазме. 2. Каковы строение и функции эндоплазматической сети, рибосом, митохондрий, хлоропластов? 3. Какие типы пластид находятся в растительной клетке и какова их роль? 4. Сравните функции митохондрий и хлоропластов.

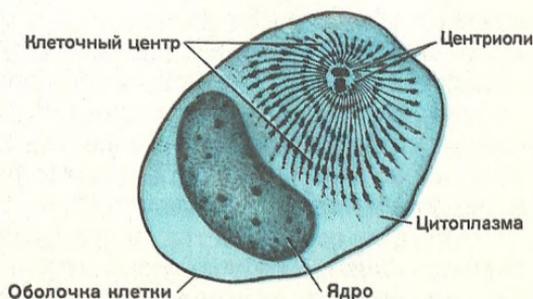
### 34. Аппарат Гольджи, лизосомы и другие органоиды цитоплазмы. Включения

**Аппарат Гольджи.** Во многих клетках животных, например в нервных, он имеет форму сложной сети, расположенной вокруг ядра. В клетках растений и простейших аппарат Гольджи представлен отдельными тельцами серповидной или палочковидной формы. Строение этого органоида сходно в клетках растительных и животных организмов, несмотря на разнообразие его формы.

В состав аппарата Гольджи входят: полости, ограниченные мембранами и расположенные группами (по 5—10); крупные и мелкие пузырьки, расположенные на концах полостей **62**. Все эти элементы составляют единый комплекс, как это видно на рисунке.



62. Схема строения аппарата Гольджи по данным электронного микроскопа.



63. Электронно-микроскопическая фотография лизосомы. Увел. 63 000.

64. Клеточный центр в развивающейся половой клетке саламандры.



### 65. Клеточные включения.

Аппарат Гольджи выполняет много важных функций. По каналам эндоплазматической сети к нему транспортируются продукты синтетической деятельности клетки — белки, углеводы и жиры. Все эти вещества сначала накапливаются, а затем в виде крупных и мелких пузырьков поступают в цитоплазму и либо используются в самой клетке в процессе ее жизнедеятельности, либо выводятся из нее и используются в организме. Например, в клетках поджелудочной железы млекопитающих синтезируются пищеварительные ферменты, которые накапливаются в полостях органоида. Затем образуются пузырьки, наполненные ферментами. Они выводятся из клеток в проток поджелудочной железы, откуда перетекают в полость кишечника. Еще одна важная функция этого органоида заключается в том, что на его мембранах происходит синтез жиров и углеводов (полисахаридов), которые используются в клетке и которые входят в состав мембран. Благодаря деятельности аппарата Гольджи происходят обновление и рост плазматической мембраны.

**Лизосомы** (греч. «лизео» — растворяю, «сома» — тело) представляют собой небольшие округлые тельца. От цитоплазмы каждая лизосома отграничена мембраной. Внутри лизосомы находятся ферменты, расщепляющие белки, жиры, углеводы, нуклеиновые кислоты.

К пищевой частице, поступившей в цитоплазму, подходят лизосомы, сливаются с ней, и образуется одна пищеварительная вакуоль (с. 130), внутри которой находится пищевая частица, окруженная ферментами лизосом. Вещества, образовавшиеся в результате переваривания пищевой частицы, поступают в цитоплазму и используются клеткой.

Обладая способностью к активному перевариванию пищевых веществ, лизосомы участвуют в удалении отмирающих в процессе жизнедеятельности частей клеток, целых клеток и органов. Например, исчезновение хвоста у головастика лягушек происходит под действием ферментов лизосом.

Образование новых лизосом происходит в клетке постоянно.

Ферменты, содержащиеся в лизосомах, как и всякие другие белки, синтезируются на рибосомах цитоплазмы. Затем эти ферменты поступают по каналам эндоплазматической сети к аппарату Гольджи, в полостях которого формируются лизосомы. В таком виде лизосомы поступают в цитоплазму.

**Клеточный центр.** В клетках животных вблизи ядра находится органоид, который называют клеточным центром. Основную часть клеточного центра составляют два маленьких тельца — центриоли, расположенные в небольшом участке уплотненной цитоплазмы **64**. Каждая центриоль имеет форму цилиндра длиной до 1 мкм. Центриоли играют важную роль при делении клетки; они участвуют в образовании веретена деления.

**Органоиды движения клеток.** К ним прежде всего относятся реснички и жгутики — миниатюрные, в виде волосков выросты клетки, приспособленные к передвижению в жидкой среде **48**.

Реснички и жгутики широко распространены как у одноклеточных, так и у многоклеточных животных. Среди простейших с помощью жгутиков передвигаются жгутиконосцы. У многоклеточных животных с помощью жгутиков передвигаются сперматозоиды.

Реснички служат органоидами движения инфузорий. Например, на поверхности тела инфузории-туфельки расположено около 15 000 ресничек, с помощью которых она быстро передвигается в воде. Тысячи ресничек покрывают клетки воздухоносных путей дыхательной системы позвоночных животных и человека. Эти реснички движутся в одном направлении и создают ток жидкости, с которым из организма удаляются твердые частички, например пылинки.

Все многоклеточные животные и человек движутся с помощью мышечных сокращений. Сократительными структурами мышечного волокна служат миофибриллы, т. е. тонкие нити диаметром примерно 1 мкм, длиной до 1 см и больше.

Целый ряд одноклеточных организмов и клеток животных передвигаются с помощью ложноножек **48**. К ним относятся амёбы среди простейших, лейкоциты, некоторые клетки соединительной ткани, а также многие другие клетки животных. Способ передвижения с помощью ложноножек получил название амёбного движения.

Огромное большинство растений неподвижно, т. е. не способно к перемещению в пространстве. Движения растений проявляются в их росте, в движениях листьев и в перемещении цитоплазмы клеток.

**Клеточные включения.** К клеточным включениям относятся углеводы, жиры и белки. Все эти вещества накапливаются в цитоплазме клетки в виде капель и зерен различной величины и формы **65**. Они периодически синтезируются в клетке и используются в процессе обмена веществ.

- ? 1. Рассмотрите рисунки 50 и 51, выявите сходство и различия животной и растительной клеток. 2. Какие структуры выполняют функции «скелета» клетки? 3. Каково строение и функции аппарата Гольджи? 5. Каковы функции лизосом? 6. Что представляют собой клеточный центр и органоиды движения клетки?

## 35. Ядро

Каждая клетка одноклеточных и многоклеточных животных, а также растений содержит ядро.

Форма и размеры ядра зависят от формы и размера клеток. В большинстве клеток имеется одно ядро, и такие клетки называют одноядерными. Существуют также клетки с двумя, тремя, с несколькими десятками и даже сотнями ядер. Это — многоядерные клетки. Встречаются они, например, у простейших, а также в печени, костном мозге, в мышцах и соединительной ткани позвоночных животных.

Жизнь клетки включает два периода: деление, в результате которого образуются две дочерние клетки; период между двумя делениями, который носит название интерфазы.

Строение и функции ядра в разные периоды жизни клетки различны. В ядре неделящейся клетки различают: ядерную оболочку, ядерный сок, ядрышко, хромосомы.

Ядерная оболочка отделяет ядро от цитоплазмы и состоит из двух мембран — наружной и внутренней, а между ними находится узкое пространство, заполненное полужидким веществом

**48, 55**. Наружная и внутренняя мембраны ядерной оболочки имеют такое же строение, как плазматическая мембрана. В ядерной оболочке находится множество мельчайших пор, через которые из ядра в цитоплазму и обратно поступают белки, углеводы, жиры, нуклеиновые кислоты, вода и разнообразные ионы, т. е. осуществляется непрерывный обмен веществ между ядром и цитоплазмой.

Ядерный сок — полужидкое вещество, которое находится под ядерной оболочкой и представляет внутреннюю среду ядра **50** и **55**. В ядерном соке находятся ядрышки и хромосомы.

В него поступают разнообразные вещества из цитоплазмы и концентрируются все вещества, выходящие из ядра в цитоплазму.

Ядрышко — плотное округлое тельце, размеры которого могут изменяться в широких пределах, от 1 до 10 мкм и больше **48, 50, 55**. Количество ядрышек также меняется в разные периоды жизнедеятельности клетки и организма — от 1 до 10 и более.

В состав ядрышка входят РНК и белок. Ядрышки связаны с хромосомами, они образуются на определенных участках хромосом и в них синтезируется РНК, которая входит в состав рибосом. Поэтому в ядрышке происходит формирование больших и малых частиц рибосом. Ядрышки формируются и видны только в неделящихся клетках, а во время деления разрушаются.

Хромосомы (греч. «хрома» — краска, «сома» — тело) — важнейшая составная часть ядра.

В неделящихся ядрах хромосомы имеют форму тончайших нитей, и потому их нельзя увидеть в световой микроскоп. Эти тончайшие нити, каждая из которых представляет одну молекулу ДНК в соединении с белком, могут иметь длину свыше 1 см. Нитевидные хромосомы неделящихся ядер располагаются в ядерном соке, переплетаются между собой, и различить каждую хромосому в отдельности трудно [50, 51, 55]. Однако такие сильно вытянутые в длину нитевидные хромосомы, а также участки их хорошо видны с помощью электронного микроскопа.

Важнейший процесс, совершающийся только в период интерфазы, — это синтез ДНК, в результате которого каждая хромосома удваивается. Отметим, что в основе синтеза лежит уникальная способность молекулы ДНК к удвоению (об этом вы узнаете позже, с. 161). Синтез ДНК протекает в середине интерфазы, и продолжительность его различна у разных видов животных и растений. Например, в клетках млекопитающих этот процесс продолжается 6—10 ч, и за это время каждая молекула ДНК строит подобную себе вторую молекулу. Следовательно, если до начала синтеза в состав одной хромосомы входила одна молекула ДНК, то после завершения синтеза в состав каждой хромосомы входят две совершенно одинаковые молекулы ДНК.

В течение всего периода интерфазы хромосомы активно осуществляют контроль над всеми процессами жизнедеятельности клетки. Именно в интерфазе в ядре непрерывно происходит синтез РНК, в цитоплазме идет синтез белков, углеводов и жиров, клетки растут. Все это означает, что в период интерфазы клетка активно функционирует, в ней осуществляются все процессы жизнедеятельности, включая питание, дыхание, синтез АТФ, выделение во внешнюю среду разнообразных продуктов обмена веществ.

Во время интерфазы происходит также увеличение числа митохондрий, хлоропластов, элементов аппарата Гольджи, удваивается число центриолей клеточного центра, т. е. клетка готовится к делению. Продолжительность интерфазы различна у разных клеток.

Есть и такие клетки в составе многоклеточного организма, которые не делятся, и интерфаза у них продолжается в течение многих лет. К их числу относятся нервные клетки, утратившие способность к делению и существующие в течение всей жизни организма.

1. Каково строение ядра?
2. Каковы роль и состав ядрышка?
3. В каком веществе ядра заключена наследственная информация?
4. В каком состоянии находятся хромосомы в интерфазе?
5. Составьте таблицу для сравнения строения и функций органоидов цитоплазмы и ядра клеток растений и животных.



## 36. Прокариотические клетки. Неклеточные формы жизни — вирусы

Особенности строения прокариотических клеток (бактерии и сине-зеленые водоросли). В клетках прокариот, в отличие от эукариот, нет ряда органоидов: митохондрий, эндоплазматической сети, аппарата Гольджи. У бактерий и сине-зеленых водорослей отсутствует ядро, хромосомы не отделены от цитоплазмы ядерной оболочкой, а свободно располагаются в цитоплазме.

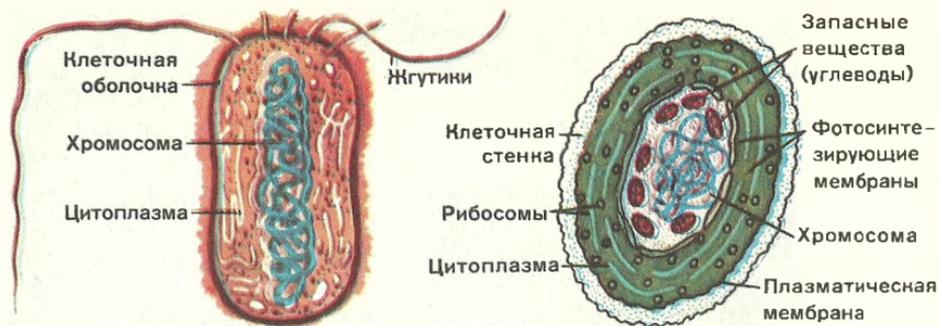
Бактерии имеют очень мелкие размеры (в длину они достигают от 1 до 10 мкм) и различные формы **48**. Снаружи бактериальная клетка окружена плотной оболочкой, а у некоторых видов еще и слизистой капсулой. Под оболочкой, состоящей из углеводов, находится плазматическая мембрана, которая тесно прилегает к цитоплазме **66**. ДНК сосредоточена в одной хромосоме, которая имеет форму кольца и расположена в центре клетки.

Размножаются бактерии делением клетки на две части; при благоприятных условиях некоторые бактерии делятся каждые 20 мин.

Бактерии имеют огромное значение для человека. Многие отрасли промышленности и сельского хозяйства полностью или частично зависят от деятельности бактерий. Такие важные химические соединения, как этиловый и бутиловый спирты, уксусная кислота, ацетон, образуются за счет деятельности бактерий. Человек использует бактерии в производстве масла, сыра, различных видов кислого молока, кислой капусты и других продуктов. В настоящее время развивается новая отрасль производства — микробиологическая промышленность. Технология производства многих ферментов, кормовых белков, лекарственных препаратов основана на жизнедеятельности бактерий.

Бактериальная клетка содержит богатый набор ферментов и биологически активных веществ, например антибиотиков. На этом и основано использование бактерий в микробиологической промышленности для получения ценных продуктов из дешевого и доступного сырья. Огромную роль играют бактерии в процессах биологической очистки воды, загрязненной промышленными и бытовыми отходами. Однако очень многие бактерии приносят человеку, животным и растениям большой вред, являясь возбудителями различных заболеваний, например дизентерии, брюшного тифа и др.

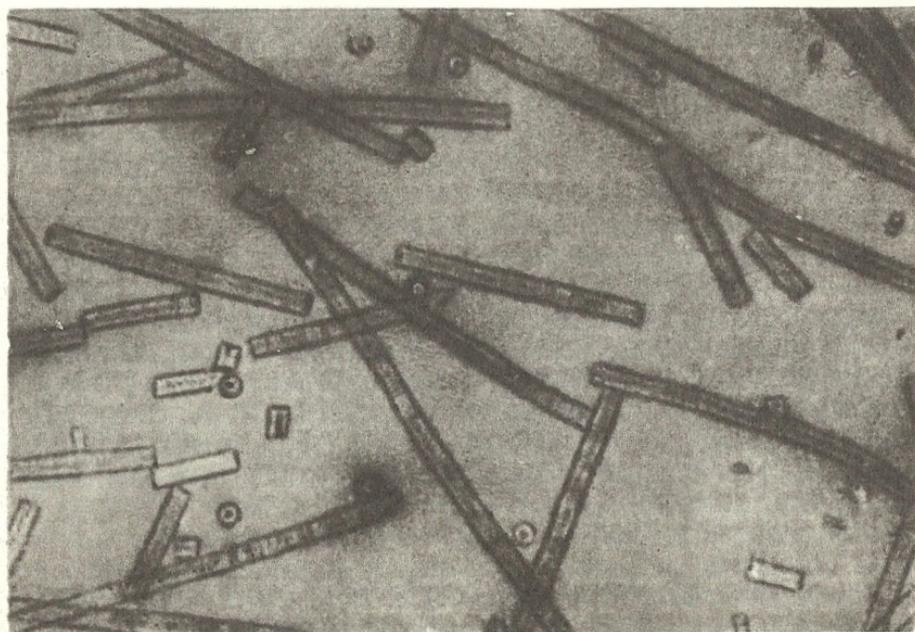
Подобно бактериям, сине-зеленые водоросли не имеют оформленного ядра, и ДНК их располагается непосредственно в цитоплазме, в самом центре клетки. Они не имеют также хлоропластов, и мембраны с заключенным в них хлорофиллом находятся прямо в цитоплазме **66**. Оболочки клеток этих организмов обладают значительной прочностью и состоят из углеводов. Размножаются сине-зеленые водоросли делением клетки пополам.



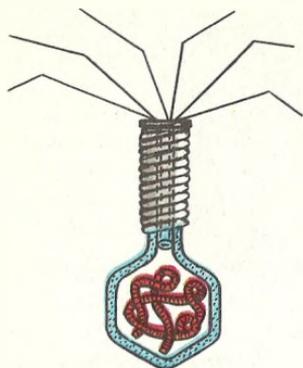
66. Схема строения бактерии (слева) и сине-зеленой водоросли (справа).



67. Вирус табачной мозаики и схема его строения.



68. Электронно-микроскопическая фотография вируса табачной мозаики. Увел. 75 000.



69. Схема строения бактериофага.

Сине-зеленые водоросли широко распространены в самых разнообразных пресных водоемах, в морях и океанах, в почве. Это наиболее древние из организмов, содержащих хлорофилл. Их находят в отложениях земной коры, возраст которых свыше 3 млрд. лет. Сине-зеленые водоросли обильно размножаются в водоемах, загрязненных органическими веществами, поэтому они служат индикаторами степени загрязненности воды.

**Вирусы.** Существует большая группа живых существ, не имеющих клеточного строения. Эти существа носят название вирусов (лат. «вирус» — яд) и представляют неклеточные формы жизни. Вирусы нельзя отнести ни к растениям, ни к животным. Они исключительно малы, поэтому могут быть изучены лишь с помощью электронного микроскопа.

Вирусы способны жить и размножаться только в клетках других организмов. Вне клеток живых организмов вирусы жить не могут, и многие из них во внешней среде имеют форму кристаллов [7]. Поселяясь внутри клеток животных, растений и бактерий, вирусы вызывают много опасных заболеваний. К числу вирусных заболеваний человека относятся, например, корь, грипп, полиомиелит, оспа. Среди вирусных болезней растений известна мозаичная болезнь табака, гороха и других культур; у больных растений вирусы разрушают хлоропласты и пораженные участки листьев становятся бесцветными [8].

Вирусы открыл русский ученый Д. И. Ивановский в 1892 г.

Каждая вирусная частица состоит из небольшого количества ДНК или РНК, т. е. генетического материала, заключенного в белковую оболочку. Эта оболочка играет защитную роль.

Рассмотрим строение вирусов на примерах вируса табачной мозаики и бактериофагов. Вирус табачной мозаики существует в форме отдельных частиц, каждая из которых имеет палочковидную форму и представляет собой цилиндр с полостью внутри. Стенка цилиндра образована молекулами белка, а внутри, под этой белковой оболочкой, располагается тяж РНК, свернутый в форме спирали [9]. В листьях табака частицы вируса, соединяясь вместе, образуют скопление в виде кристаллов шестигранной формы, которые видны в световой микроскоп [10].

Известны также вирусы, которые поселяются в клетках бактерий. Их называют бактериофагами или фагами (греч. «фагос» — пожирающий). Бактериофаги полностью разрушают бактериальные клетки и потому могут быть использованы для лечения бактериальных заболеваний, например дизентерии, брюшного тифа, холеры.

Рассмотрим строение бактериофага, который поселяется в клетках кишечной палочки. Такой бактериофаг **69** по форме напоминает головастика. Тело бактериофага состоит из головки, хвостика и нескольких хвостовых отростков. Снаружи головка и хвостик покрыты белковой оболочкой. Внутри головки находится ДНК, а внутри хвостика проходит канал. Бактериофаг проникает в клетку кишечной палочки. Сначала он прикрепляется к ее поверхности и растворяет в этом месте оболочку бактерии. Затем ДНК бактериофага впрыскивается в клетку бактерии. Дальше у кишечной палочки, зараженной бактериофагом, начинает синтезироваться ДНК бактериофага, а не собственная ДНК бактерии, и в конечном итоге бактерия погибает.

Строение вирусов дает основание считать их неклеточными существами.

1. Каковы особенности клеток прокариот? 2. Сравните строение клеток прокариот и эукариот. 3. Каково значение прокариот в природе и хозяйственной деятельности человека? 4. Почему вирусы считают неклеточной формой жизни?



## 37. Химический состав клетки. Неорганические вещества

**Атомный и молекулярный состав клетки.** В микроскопической клетке содержится несколько тысяч веществ, которые участвуют в разнообразных химических реакциях. Химические процессы, протекающие в клетке, — одно из основных условий ее жизни, развития, функционирования.

Все клетки животных и растительных организмов, а также микроорганизмов сходны по химическому составу, что свидетельствует о единстве органического мира.

Содержание химических элементов в клетке

Элементы	Количество (в %)	Элементы	Количество (в %)
Кислород	65—75	Кальций	0,04—2,00
Углерод	15—18	Магний	0,02—0,03
Водород	8—10	Натрий	0,02—0,03
Азот	1,5—3,0	Железо	0,01—0,015
Фосфор	0,20—1,00	Цинк	0,0003
Калий	0,15—0,4	Медь	0,0002
Сера	0,15—0,2	Иод	0,0001
Хлор	0,05—0,10	Фтор	0,0001

В таблице приведены данные об атомном составе клеток. Из 109 элементов периодической системы Менделеева в клетках обнаружено значительное их большинство. Одни элементы содержатся в клетках в относительно большом количестве, другие —

в малом. Особенно велико содержание в клетке четырех элементов — кислорода, углерода, азота и водорода. В сумме они составляют почти 98% всего содержимого клетки. Следующую группу составляют восемь элементов, содержание которых в клетке исчисляется десятками и сотыми долями процента. Это сера, фосфор, хлор, калий, магний, натрий, кальций, железо. В сумме они составляют 1,9%. Все остальные элементы содержатся в клетке в исключительно малых количествах (меньше 0,01%).

Таким образом, в клетке нет каких-нибудь особенных элементов, характерных только для живой природы. Это указывает на связь и единство живой и неживой природы. На атомном уровне различий между химическим составом органического и неорганического мира нет. Различия обнаруживаются на более высоком уровне организации — молекулярном. Как видно из таблицы, в живых телах наряду с веществами, распространенными в неживой природе, содержится множество веществ, характерных только для живых организмов.

#### Содержание в клетке химических соединений

Соединения (в %)			
неорганические		органические	
Вода	70—80	Белки	10—20
Неорганические вещества	1,0—1,5	Углеводы	0,2—2,0
		Жиры	1—5
		Нуклеиновые кислоты	1,0—2,0
		АТФ и другие низкомолекулярные органические вещества	0,1—0,5

**Вода.** На первом месте среди веществ клетки стоит вода. Она составляет почти 80% массы клетки. Вода — важнейший компонент клетки не только по количеству. Ей принадлежит существенная и многообразная роль в жизни клетки.

Вода определяет физические свойства клетки — ее объем, упругость. Велико значение воды в образовании структуры молекул органических веществ, в частности структуры белков, которая необходима для выполнения их функций. Велико значение воды как растворителя: многие вещества поступают в клетку из внешней среды в водном растворе и в водном же растворе отработанные продукты выводятся из клетки. Наконец, вода является непосредственным участником многих химических реакций (расщепление белков, углеводов, жиров и др.).

Приспособленность клетки к функционированию в водной среде служит доводом в пользу того, что жизнь на Земле зародилась в воде.

Биологическая роль воды определяется особенностью ее молекулярной структуры, полярностью ее молекул.

Особенности молекулярной структуры воды объясняют и ее свойства как растворителя. Существует много веществ, хорошо растворимых в воде: таковы многие соли, кислоты, щелочи, а из органических веществ — многие спирты, амины, углеводы, белки и др. Вещества, хорошо растворимые в воде, называются гидрофильными веществами (греч. «гидрос» — вода, «фило» — люблю). Известно также много веществ, плохо или вовсе нерастворимых в воде, например жиры, клетчатка и др. Их называют гидрофобными веществами (греч. «гидрос» — вода, «фобос» — страх, ненависть). От чего же зависит гидрофильность или гидрофобность вещества? Вещества гидрофильны, если в их молекуле содержатся группы атомов, способные вступать с молекулами воды в электростатическое взаимодействие или образовывать с ними водородные связи. В клетке содержится много гидрофильных веществ: соли, углеводы, белки, низкомолекулярные органические соединения. Есть в клетке и гидрофобные вещества, например жиры. Тончайший слой гидрофобных веществ входит в состав клеточных мембран. Благодаря этому ограничивается передвижение воды из окружающей среды в клетку и обратно, а также из одних участков клетки в другие.

**Соли.** К неорганическим веществам клетки, кроме воды, относятся также соли. Для процессов жизнедеятельности из входящих в состав солей катионов наиболее важны  $K^+$ ,  $Na^+$ ,  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$ , из анионов  $НРО_4^{2-}$ ,  $Н_2РО_4^-$ ,  $Cl^-$ ,  $НСО_3^-$ .

Концентрация катионов и анионов в клетке и в среде ее обитания, как правило, резко различна. Так, внутри клетки всегда довольно высокая концентрация ионов калия и очень малая ионов натрия. Напротив, в окружающей клетку среде — в плазме крови, в морской воде — мало ионов калия и много ионов натрия. Пока клетка жива, это соотношение ионов внутри и вне клетки стойко поддерживается. После смерти клетки содержание ионов в клетке и в среде быстро выравнивается. Содержащиеся в клетке ионы имеют важное значение для нормального функционирования клетки, а также для поддержания внутри клетки постоянной реакции. Несмотря на то что в процессе жизнедеятельности непрерывно образуются кислоты и щелочи, в норме реакция клетки слабощелочная, почти нейтральная. Это обеспечивается содержащимися в ней анионами слабых кислот ( $НСО_3^-$ ,  $НРО_4^{2-}$ ) и слабыми кислотами ( $Н_2СО_3$ ), которые связывают и отдают ионы водорода, в результате чего реакция внутренней среды клетки практически не изменяется.

Неорганические вещества содержатся в клетке не только в растворенном, но и в твердом состоянии. В частности, прочность и твердость костной ткани обеспечиваются фосфатом кальция, а раковин моллюсков — карбонатом кальция.

1. О чем свидетельствует сходство химического состава клеток разных организмов? 2. Чем отличается химический состав тел живой и неживой природы? 3. Какова биологическая роль воды в клетке? 4. Назовите ионы неорганических соединений, содержащиеся в клетке.

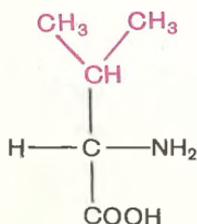


## 38. Органические вещества клетки. Белки, их строение

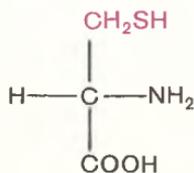
**Химический состав белков.** Из органических веществ клетки на первом месте по количеству и значению стоят белки. В состав всех белков входят атомы углерода, водорода, кислорода, азота. Во многие белки входят, кроме того, атомы серы. Есть белки, в состав которых входят также атомы металлов — железа, цинка, меди.

В отличие от других органических соединений белки обладают рядом особенностей. Прежде всего белкам присуща громадная молекулярная масса. Сравните: молекулярная масса спирта — 46, уксусной кислоты — 60, бензола — 78, а альбумина (одного из белков яйца) — 36 000, гемоглобина (белка из красных кровяных клеток) — 152 000, миозина (одного из белков мышц) — 500 000. Ясно, что по сравнению с молекулами спирта, уксусной кислоты, бензола и другими молекулы белков великаны. В их построении участвуют тысячи атомов. Для того чтобы подчеркнуть гигантский размер таких молекул, их называют макромолекулами (греч. «макрос» — большой, гигантский).

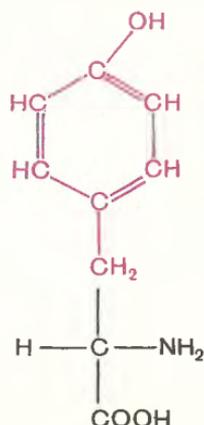
**Строение белков.** Среди органических соединений белки самые сложные. Они относятся к соединениям, называемым *полимерами*. Молекула полимера представляет длинную цепь, в которой много раз повторяется одна и та же сравнительно простая



Валин (вал)



Цистеин (цис)



Тирозин (тир)

## 70. Строение аминокислот.

структура, называемая *мономером*. Если обозначить мономер буквой А, то структуру полимера можно изобразить так: А—А—А—А—А.

Кроме белков в природе существует много других полимеров, например целлюлоза, крахмал, каучук. В химической промышленности создано много искусственных полимеров — полиэтилен, лавсан, капрон и др.

Большинство природных и искусственных полимеров построены из одинаковых мономеров. Белки же состоят из сходных, но не вполне одинаковых мономеров. Мономерами белков являются аминокислоты. Как видно на рисунке 70, молекула аминокислоты как бы состоит из двух частей. Одна часть (черными буквами) у всех аминокислот одинаковая. Это группировка

$$\begin{array}{c} | \\ \text{H}-\text{C}-\text{NH}_2 \\ | \\ \text{COOH} \end{array}$$

Она состоит из аминогруппы ( $-\text{NH}_2$ ) и находящейся рядом карбоксильной группы ( $-\text{COOH}$ ). Другая часть молекулы у всех аминокислот разная (она напечатана красными буквами). Эта часть называется *радикалом*.

Известно много разных аминокислот. Но в качестве мономеров любых природных белков — животных, растительных, микробных, вирусных — известно только 20 аминокислот. Они получили название «волшебных». Их список представлен в таблице.

Тот факт, что белки всех организмов построены из одних и тех же аминокислот — еще одно доказательство единства живого мира на Земле.

Двадцать аминокислот, входящих в состав природных белков («волшебные» аминокислоты)

Аминокислота	Сокращенное название	Аминокислота	Сокращенное название
Аланин	Ала	Лейцин	Лей
Аргинин	Арг	Лизин	Лиз
Аспарагин	Асп	Метионин	Мет
Аспарагиновая кислота	Асп	Пролин	Про
Валин	Вал	Серин	Сер
Гистидин	Гис	Тирозин	Тир
Глицин	Гли	Треонин	Тре
Глутамин	Глн	Триптофан	Три
Глутаминовая кислота	Глу	Фенилаланин	Фен
Изолейцин	Иле	Цистеин	Цис

Соединение аминокислот при образовании белковой молекулы осуществляется через общую для всех аминокислот группировку. Чтобы лучше это понять, рассмотрите рисунок 71: из карбоксильной группы одной аминокислоты и аминогруппы соседней

аминокислоты отщепляется молекула воды и за счет освобожденных валентностей остатки аминокислот соединяются. Между аминокислотами возникает прочная ковалентная связь  $\text{NH}-\text{CO}$ , называемая пептидной связью. Образовавшееся соединение аминокислот называется *пептидом*. Пептид из двух аминокислот называется дипептидом, из трех аминокислот — трипептидом, из многих аминокислот — полипептидом. Все белки представляют собой полипептиды, т. е. цепи из многих десятков и даже сотен аминокислотных звеньев.

Каждый живой организм содержит большое число различных белков. При этом каждому виду присущи особенные, свойственные только данному виду белки. Даже белки, выполняющие у разных видов животных одну и ту же функцию, отличаются друг от друга. Например, у всех позвоночных животных — рыб, амфибий, птиц, млекопитающих — красные клетки крови содержат белок гемоглобин, выполняющий у всех животных одну и ту же функцию — транспорт кислорода. Но гемоглобин у каждого вида животных свой, особенный, по структуре и свойствам отличающийся от гемоглобинов других животных.

Для того чтобы объяснить возможность существования такого громадного разнообразия белков, нужно учесть, что белки различаются по составу аминокислот, по числу аминокислотных звеньев, по порядку следования в цепи. Число структурных вариантов достигает при этом астрономических цифр.\*

Если учесть, что размер одного аминокислотного звена равен 0,35—0,37 нм, то очевидно, что макромолекула белка, которая состоит из сотен аминокислотных остатков, должна была бы иметь в длину несколько десятков нанометров. В действительности же размеры молекул белков гораздо меньше. Некоторые из них имеют вид шариков с диаметром всего 5—7 нм. Полипептидная цепь белка как-то скручена, как-то уложена. Каждому белку присущ строго определенный характер укладки. Для полной характеристики строения белковой молекулы требуется знание его первичной, вторичной и третичной структур.

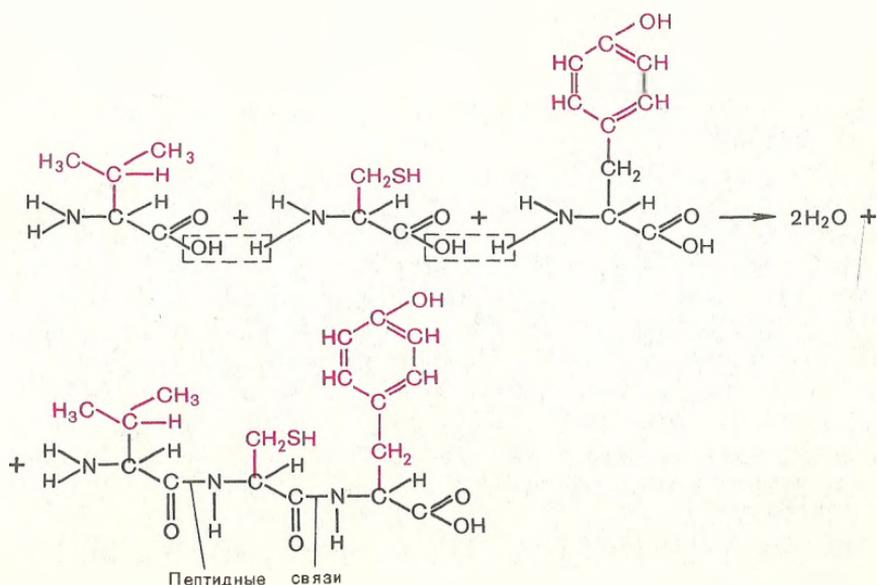
Последовательность аминокислотных остатков в молекуле белка определяет его первичную структуру. Это как бы формула

\* В докладе индийского ученого Синга на биохимическом конгрессе в Москве был приведен следующий любопытный расчет. Белок с молекулярной массой 34 000 содержит около 300 аминокислотных звеньев (молекулярная масса одного аминокислотного звена в среднем равна 110). Пусть в состав этого белка входят не все 20 аминокислот, а только 12. При таких условиях число возможных изомеров для этого белка оказывается равным  $10^{300}$ . Для того чтобы ощутить громадность этой цифры, представим себе  $10^{300}$  однокопеечных монет. Такая груда монет весит  $10^{300}$  г (одна однокопеечная монета весит 1 г). Масса же земного шара  $10^{27}$  г!

белка. На рисунке  представлена первичная структура белка рибонуклеазы. В состав этого белка входят 124 аминокислотных звена. Чаще всего полипептидная цепь полностью или частично закручивается в спираль. Это вторичная структура белка. Аминокислотные радикалы остаются при этом снаружи спирали. Витки спирали располагаются тесно. Между NH-группами, находящимися на одном витке, и СО-группами, находящимися на соседнем витке, образуются водородные связи . Водородные связи значительно слабее ковалентных, но, повторенные многократно, они дают прочное сцепление. Полипептидная спираль, «прошитая» многочисленными водородными связями, представляет достаточно прочную структуру.

Полипептидная спираль подвергается дальнейшей укладке. Она сворачивается причудливо, но для каждого белка вполне определено и постоянно. В результате возникает конфигурация, называемая третичной структурой . Третичную структуру поддерживают гидрофобные связи, которые возникают между радикалами гидрофобных аминокислот. Эти связи слабее водородных. В водной среде в клетке гидрофобные радикалы отталкиваются от воды и слипаются друг с другом. Таким образом, водная среда как бы принуждает белковую молекулу принять определенную упорядоченную структуру, и она становится биологически активной.

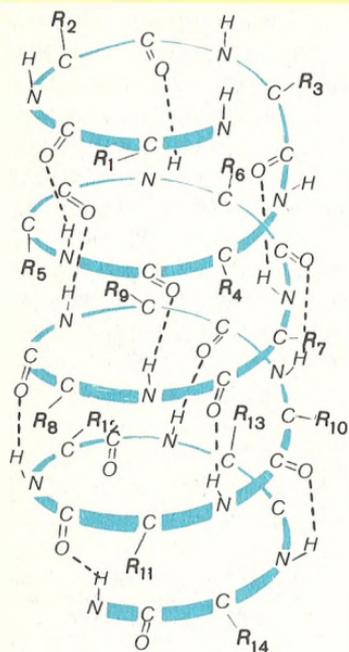
Третичная структура не является высшей формой структурной организации белка. В живой клетке обнаружено много других, еще более сложных ее форм, например четвертичные .



**71. Соединение аминокислот в полипептидную цепь.**

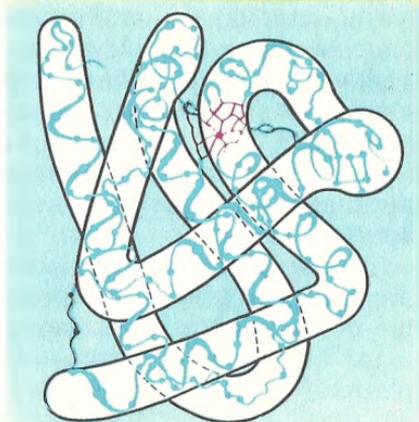
лиз—глю—тре—ала—ала—ала—лиз—  
 фено—глю—арг—гли—гис—мет—асп—  
 сер—сер—тре—сер—ала—ала—сер—  
 сер—сер—асн—тир—цис—асн—глю—  
 мет—мет—лиз—сер—арг—асн—лей—  
 тре—лиз—асп—арг—цис—лиз—про—  
 вал—асн—тре—фен—вал—гис—глю—  
 сер—лей—ала—асп—вал—гли—ала—  
 вал—цис—сер—гли—лиз—асн—вал—  
 ала—цис—лиз—асн—гли—гли—тре—  
 асн—цис—три—гли—сер—три—сер—  
 тре—мет—сер—иле—тре—асп—цис—  
 арг—глю—тре—гли—сер—сер—лиз—  
 тир—про—асн—цис—ала—тир—лиз—  
 тре—тре—гли—ала—асн—лиз—гис—  
 иле—иле—вал—ала—цис—глю—гли—  
 асн—про—тир—вал—про—вал—гис—  
 фено—асп—ала—сер—вал

Первичная структура—  
 аминокислотная последовательность  
 белка рибонунлеази  
 (124 аминокислотных звена)

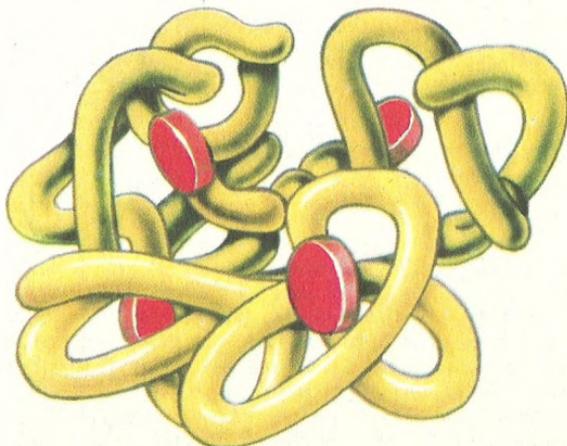


Вторичная структура—  
 полипептидная цепь  
 закручена в виде спирали

Четвертичная структура—  
 несколько полипептидных  
 цепей соединены



Третичная структура белка миоглобина  
 Красным цветом выделен участок молекулы,  
 присоединяющий ниспород



1. Каковы особенности строения белка как полимера? 2. Чем отличаются белки как полимеры от таких природных полимеров, как крахмал, целлюлоза, каучук? От искусственных полимеров (полиэтилена, лавсана и др.)?
3. Что представляет собой первичная структура белка? 4. Что представляют собой вторичная, третичная структуры белка?



## 39. Свойства и функции белков

**Свойства белков.** Из разных живых объектов — животных, растений, микроорганизмов — были извлечены и изучены тысячи разных белков. Поражает разнообразие физических и химических свойств белков, что обусловлено их различным аминокислотным составом.

Существуют белки совершенно нерастворимые в воде, есть белки легко растворимые в воде. Есть белки малоактивные в химическом отношении, устойчивые к действию различных агентов. Есть белки крайне неустойчивые, изменяющиеся под влиянием ничтожных воздействий, например под влиянием слабого освещения или простого прикосновения. Есть белки, имеющие вид нитей, достигающих в длину сотен нанометров; есть белки, молекулы которых имеют вид шариков диаметром всего 5—7 нм. Но во всех случаях структура и свойства белка строго соответствуют выполняемой им функции. Из устойчивого, твердого, как сталь, белка кератина состоят образования, используемые животными для защиты и агрессии, — рога, копыта, панцири, когти, перья, волосы. Белки с нитевидными молекулами входят в состав мышц. Они способны укорачиваться и растягиваться и обеспечивают двигательные реакции клеток. Белки с мелкими круглыми молекулами, легко растворимые, подвижные используются для транспорта веществ. Белки высокоактивные, с легко изменяемой структурой выполняют функции катализаторов, а также используются для приема и передачи сигналов в клетку из внешней среды.

Под влиянием различных физических и химических факторов — высокой температуры, ряда химических веществ, облучения, механического воздействия — слабые связи, поддерживающие вторичную и третичную (но не первичную) структуры белка, рвутся и молекула разворачивается 73. Нарушение природной структуры белка называется *денатурацией*. В результате денатурации свойства белка изменяются. Он утрачивает растворимость, становится доступным действию пищеварительных ферментов, теряет присущие ему функции. Явление денатурации белка, без сомнения, знакомо всем, ибо каждый наблюдал, как прозрачное жидкое содержимое яйца после нагревания становится плотным и непрозрачным.

Процесс денатурации обратим, т. е. развернутая полипептидная цепь способна самопроизвольно закрутиться в спираль, а спираль — самопроизвольно уложиться в третичную структуру. Но это значит, что все особенности строения белка определяются



### 73. Денатурация белка.

его первичной структурой, т. е. составом и порядком чередования аминокислот в полипептидной цепи.

Способность белков к обратимому изменению структуры в ответ на действие физических и химических факторов лежит в основе важнейшего свойства всех живых систем — раздражимости.

**Функции белков.** Белки в клетке выполняют важные и многообразные функции. Прежде всего они выполняют *строительную* функцию. Из белков состоят мембраны клеток и клеточных органоидов. У высших животных в основном из белков состоят стенки кровеносных сосудов, сухожилия, хрящи и т. д.

Громадное значение имеет *каталитическая* функция белков. Из курса химии вам известно, что скорость химических реакций зависит от свойств реагирующих веществ, от их концентрации и температуры, при которой идет реакция. Химическая активность веществ в живой клетке, как правило, невелика. Концентрации их в клетке большей частью незначительны. Температура клеточной среды невысокая. Таким образом, реакции в клетке должны были бы протекать очень медленно. Между тем реакции в клетке идут с большими скоростями. Это достигается благодаря наличию в клетке катализаторов. Клеточные катализаторы называются ферментами. Каталитическая активность ферментов исключительно велика. Они ускоряют реакции в десятки, сотни миллионов раз. По химической природе ферменты — белки. В большинстве случаев ферменты катализируют превращения веществ, размеры молекул которых по сравнению с размерами макромолекулы фермента очень малы. Например, фермент каталаза имеет молекулярную массу 250 000, а пероксид водорода ( $H_2O_2$ ), распад которого катализирует каталаза, всего 34. Такое соотношение между размерами фермента и веществом, на которое он действует, наводит на мысль, что каталитическая активность фермента определяется не всей его молекулой, а только небольшим ее участком — активным центром фермента. Как известно, реакция между веществами происходит при условии тесного сближения их молекул. Возможность сближения фермента и вещества происходит благодаря геометрическому соответствию структур активного центра фермента и молекулы веществ-

ва. Они подходят друг к другу, «как ключ к замку». При денатурации фермента его каталитическая активность исчезает, так как нарушается структура активного центра.

Почти каждая химическая реакция в клетке катализируется особым ферментом. Число различных реакций, протекающих в клетке, достигает нескольких тысяч. Соответственно в клетке обнаружено несколько тысяч разных ферментов.

Кроме строительной и каталитической функций, важна *сигнальная* функция белков. В поверхностную мембрану клетки встроены молекулы белков, способных изменять свою третичную структуру в ответ на действие факторов внешней среды. Так происходит прием сигналов из внешней среды и передача команд в клетку.

Белкам присуща также *двигательная* функция. Движение — одно из проявлений жизненной активности. Все виды движения, к которым способны клетки у высших животных, в том числе и сокращение мышц, а также мерцание ресничек у простейших, движения жгутиков, выполняют особые сократительные белки.

Белки выполняют также *транспортную* функцию. Они способны присоединять различные вещества и переносить их из одного места клетки в другое. Белок крови гемоглобин присоединяет кислород и разносит его ко всем тканям и органам тела.

Большое значение имеет *защитная* функция белков. При введении чужеродных белков или клеток в организм в нем происходит выработка особых белков, которые связывают и обезвреживают чужеродные клетки и вещества.

Следует отметить, наконец, *энергетическую* функцию белков. Белки распадаются в клетке до аминокислот. Часть аминокислот используется для синтеза белков, часть же подвергается глубокому расщеплению, в ходе которого освобождается энергия. При полном расщеплении 1 г белка освобождается 17,6 кДж.

О громадном значении белков для жизни догадывались давно. Сто лет назад Ф. Энгельс писал, что «жизнь есть форма существования белковых тел». Эта фраза стала крылатой, в ней подчеркивается решающее значение белков для жизни. Данные современной биологии полностью подтверждают этот вывод.

1. Что представляет собой денатурация белка? Какие структуры белка нарушаются при денатурации и какие сохраняются? Почему? 2. Что представляют собой ферменты? Какую роль они играют в клетке? 3. Докажите, что все особенности строения молекулы белка определяются его первичной структурой. 4. Охарактеризуйте функции белков.



## 40. Углеводы. Липиды

**Углеводы.** Углеводы содержатся в животных клетках в небольшом количестве (около 1% от массы сухого вещества); в клетках печени и мышц их больше (до 5%). Растительные же клетки очень богаты углеводами: в высушенных листьях, семенах, плодах, клубнях картофеля их почти 70%.

Углеводы представляют собой сложные органические соединения, в их состав входят атомы углерода, кислорода и водорода.

Различают простые и сложные углеводы. Простые углеводы называют моносахаридами. Сложные углеводы представляют собой полимеры, в которых моносахариды играют роль мономеров. Из двух моносахаридов образуется дисахарид, из трех — трисахарид, из многих — полисахарид.

Все моносахариды — бесцветные вещества, хорошо растворимые в воде. Почти все они обладают приятным сладким вкусом. Самые распространенные моносахариды — глюкоза, фруктоза, рибоза и дезоксирибоза. Сладкий вкус фруктов и ягод, а также меда зависит от содержания в них глюкозы и фруктозы. Рибоза и дезоксирибоза входят в состав нуклеиновых кислот (с. 158) и АТФ (с. 163).

Ди- и трисахариды, подобно моносахаридам, хорошо растворяются в воде, обладают сладким вкусом. С увеличением числа мономерных звеньев растворимость полисахаридов уменьшается, сладкий вкус исчезает.

Из дисахаридов важны свекловичный (или тростниковый) и молочный сахар, из полисахаридов широко распространены крахмал (у растений), гликоген (у животных), клетчатка (целлюлоза). Древесина — почти чистая целлюлоза. Мономерами этих полисахаридов является глюкоза.

**Биологическая роль углеводов.** Углеводы играют роль источника энергии, необходимой для осуществления клеткой различных форм активности. Для деятельности клетки — движения, секреции, биосинтеза, свечения и т. д. — необходима энергия. Сложные по структуре, богатые энергией, углеводы подвергаются в клетке глубокому расщеплению и в результате превращаются в простые, бедные энергией соединения — оксид углерода (IV) и воду ( $\text{CO}_2$  и  $\text{H}_2\text{O}$ ). В ходе этого процесса освобождается энергия. При расщеплении 1 г углевода освобождается 17,6 кДж.

Кроме энергетической, углеводы выполняют и строительную функцию. Например, из целлюлозы состоят стенки растительных клеток.

**Липиды.** Липиды содержатся во всех клетках животных и растений. Они входят в состав многих клеточных структур.

Липиды представляют собой органические вещества, нерастворимые в воде, но растворимые в бензине, эфире, ацетоне.

Из липидов самые распространенные и известные — жиры. Содержание жира в клетках обычно невелико: 5—10% (от сухого вещества). Существуют, однако, клетки, в которых около 90% жира. У животных такие клетки находятся под кожей, в грудных железах, сальнике. Жир содержится в молоке всех млекопитающих. У некоторых растений большое количество жира сосредоточено в семенах и плодах, например у подсолнечника, конопли, грецкого ореха.

Кроме жиров в клетках присутствуют и другие липиды, на-

пример лецитин, холестерин. К липидам относятся некоторые витамины (А, D) и гормоны (например, половые).

Биологическое значение липидов велико и многообразно. Отметим прежде всего их строительную функцию. Липиды гидрофобны. Тончайший слой этих веществ входит в состав клеточных мембран. Велико значение самого распространенного из липидов — жира — как источника энергии. Жиры способны окисляться в клетке до оксида углерода (IV) и воды. В ходе расщепления жира освобождается в два раза больше энергии, чем при расщеплении углеводов. Животные и растения откладывают жир в запас и расходуют его в процессе жизнедеятельности. Высокое содержание жира в семенах необходимо для обеспечения энергией проростка, пока он не перейдет к самостоятельному питанию.

Необходимо отметить далее значение жира как источника воды. Из 1 кг жира при его окислении образуется почти 1,1 кг воды. Это объясняет, каким образом некоторые животные способны обходиться довольно значительное время без воды. Верблюды, например, совершающие переход через безводную пустыню, могут не пить в течение 10—12 дней. Медведи, сурки и другие животные в спячке не пьют более двух месяцев. Необходимую для жизнедеятельности воду эти животные получают в результате окисления жира. Кроме структурной и энергетической функций, липиды выполняют защитные функции: жир обладает низкой теплопроводностью. Он откладывается под кожей, образуя у некоторых животных значительные скопления. Так, у кита толщина подкожного слоя жира достигает 1 м, что позволяет этому животному жить в холодной воде полярных морей.

1. Какие углеводы содержатся в клетках растений и животных? 2. В каких клетках содержание углеводов очень велико и какое это имеет значение для организмов? 3. Охарактеризуйте биологическую роль углеводов. 4. Чем отличаются липиды от других веществ клетки? 5. Какова биологическая роль липидов?



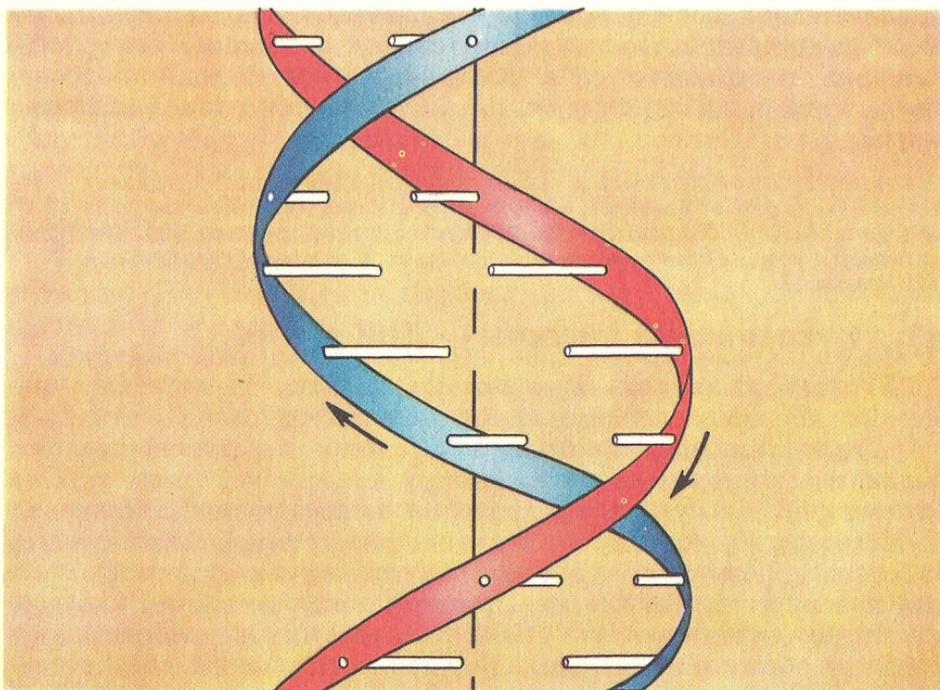
## 41. Нуклеиновые кислоты — ДНК и РНК

**Биологическая роль нуклеиновых кислот.** Название «нуклеиновые кислоты» происходит от латинского слова «нуклеус», т. е. ядро: они впервые были обнаружены в клеточных ядрах. Биологическое значение нуклеиновых кислот очень велико. Они играют центральную роль в хранении и передаче наследственных свойств клетки, поэтому их часто называют веществами наследственности. Известно, что любая клетка возникает в результате деления материнской клетки. При этом дочерние клетки наследуют свойства материнской. Свойства же клетки определяются главным образом ее белками. Нуклеиновые кислоты обеспечивают в клетке синтез белков, точно таких же, как в материнской клетке.

Существуют два вида нуклеиновых кислот — дезоксирибонуклеиновая кислота (ДНК) и рибонуклеиновая кислота (РНК).

**Дезоксирибонуклеиновая кислота (ДНК).** Роль хранителя наследственной информации у всех клеток — животных и растительных — принадлежит ДНК. Схема строения ДНК изображена на рисунке 74. Молекула ДНК представляет собой две спирально закрученные одна вокруг другой нити. Ширина такой двойной спирали ДНК невелика, около 2 нм. Длина же ее в десятки тысяч раз больше — она достигает сотен тысяч нанометров. Между тем самые крупные белковые молекулы в развернутом виде достигают в длину не более 100—200 нм (с. 153). Таким образом, вдоль молекулы ДНК могут быть уложены одна за другой тысячи белковых молекул. Молекулярная масса ДНК соответственно исключительно велика — она достигает десятков и даже сотен миллионов.

Обратимся к структуре ДНК. Каждая нить ДНК представляет собой полимер, мономерами которого являются нуклеотиды. Нуклеотид — это химическое соединение остатков трех веществ: азотистого основания, углевода (моносахарида — дезоксирибозы) и фосфорной кислоты. ДНК всего органического мира образованы соединением четырех видов нуклеотидов. Их структуры приведены на рисунке 75. Как видно, у всех четырех нуклеотидов углевод и фосфорная кислота одинаковы.



74. Схема строения ДНК (двойная спираль).

Нуклеотиды отличаются только по азотистым основаниям, в соответствии с которыми их называют: нуклеотид с азотистым основанием аденин (сокращенно А), нуклеотид с гуанином (Г), нуклеотид с тиминем (Т) и нуклеотид с цитозином (Ц). По размерам А равен Г, а Т равен Ц; размеры А и Г несколько больше, чем Т и Ц.

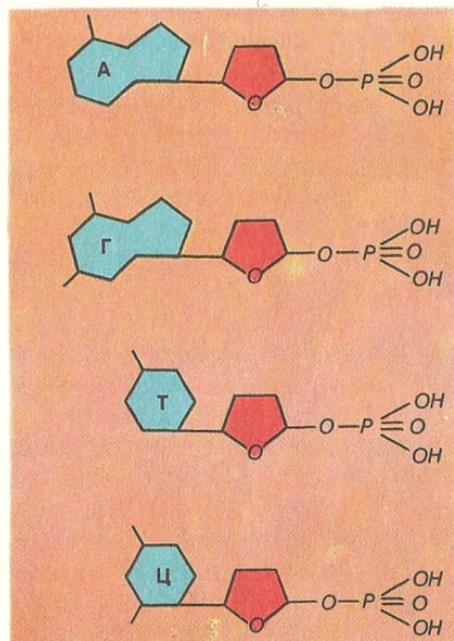
Соединение нуклеотидов в нити ДНК происходит через углевод одного нуклеотида и фосфорную кислоту соседнего. Они соединяются прочной ковалентной связью **76**

Итак, каждая нить ДНК представляет собой полинуклеотид. Это длинная цепь, в которой в строго определенном порядке расположены нуклеотиды.

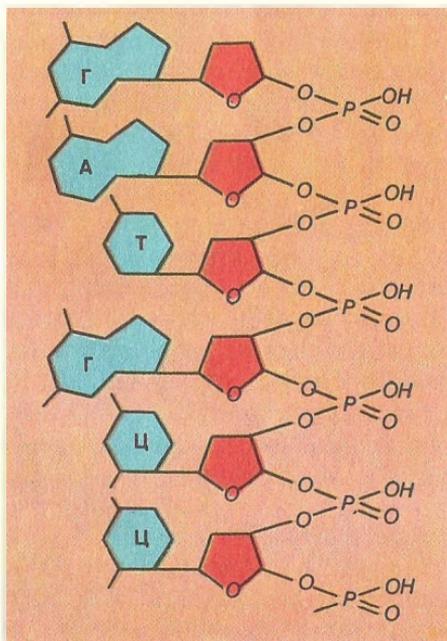
Рассмотрим теперь, как располагаются относительно друг друга нити ДНК, когда образуется двойная спираль, и какие силы удерживают их рядом. Представление об этом дает рисунок **77**, на котором изображен небольшой участок двойной спирали.

Как видно, азотистые основания одной цепи «стыкуются» с азотистыми основаниями другой. Основания подходят друг к другу настолько близко, что между ними возникают водородные связи.

В расположении стыкующихся нуклеотидов имеется важная закономерность, а именно: против А одной цепи всегда оказыва-



75. Четыре нуклеотида, из которых построены все ДНК живой природы.

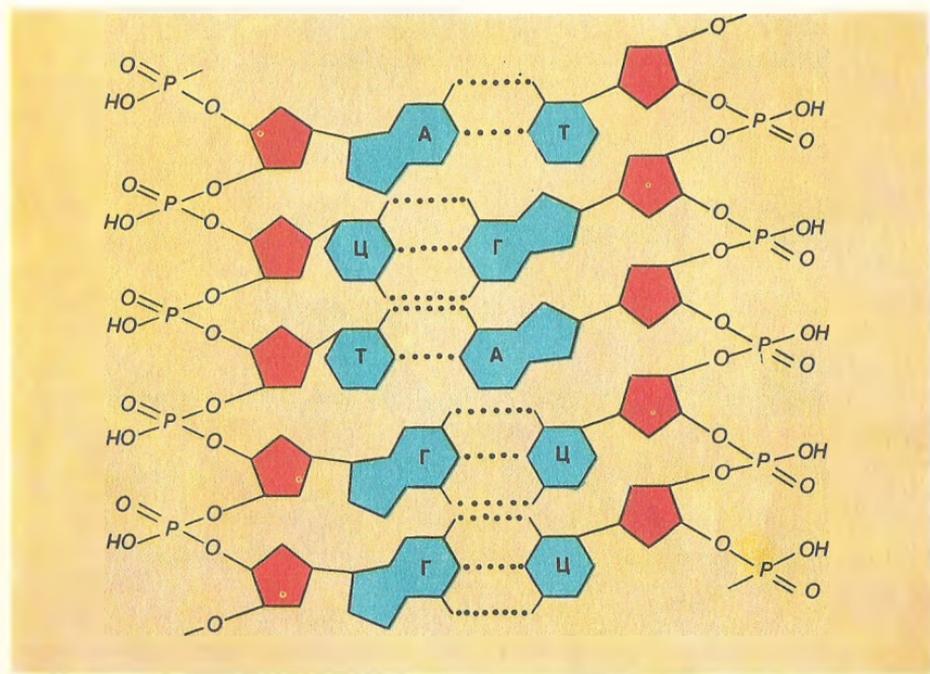


76. Соединение нуклеотидов в полинуклеотидную цепь.

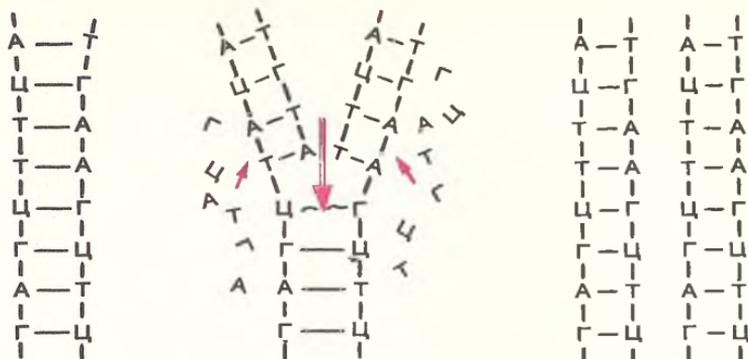
ется Т на другой цепи, а против Г одной цепи — всегда Ц. Оказывается, что только при таком сочетании нуклеотидов обеспечивается, во-первых, одинаковое по всей длине двойной спирали расстояние между цепями и, во-вторых, образование между противоположащими основаниями максимального числа водородных связей (три водородные связи между Г и Ц и две водородные связи между А и Т). В каждом из этих сочетаний оба нуклеотида как бы дополняют друг друга. Слово «дополнение» на латинском языке «комплемент». Принято поэтому говорить, что Г является комплементарным Ц, а Т комплементарен А. Если на каком-нибудь участке одной цепи ДНК один за другим следуют нуклеотиды А, Г, Ц, Т, А, Ц, Ц, то на противоположащем участке другой цепи окажутся комплементарные им Т, Ц, Г, А, Т, Г, Г. Таким образом, если известен порядок следования нуклеотидов в одной цепи, то по принципу комплементарности сразу же выясняется порядок нуклеотидов в другой цепи.

Большое число водородных связей обеспечивает прочное соединение нитей ДНК, что придает молекуле устойчивость и в то же время сохраняет ее подвижность: под влиянием фермента дезоксирибонуклеазы она легко раскручивается.

ДНК содержится в ядре клетки, а также в митохондриях и хлоропластах. В ядре ДНК входит в состав хромосом, где она находится в соединении с белками.



77. Участок двойной спирали ДНК.



78. Схема удвоения ДНК.

**Удвоение ДНК.** Принцип комплементарности, лежащий в основе структуры ДНК, позволяет понять, как синтезируются новые молекулы ДНК незадолго перед делением клетки. Этот синтез обусловлен замечательной способностью молекулы ДНК к удвоению и определяет передачу наследственных свойств от материнской клетки к дочерним.

Как происходит удвоение ДНК, показано на рисунке 78. Двойная спираль ДНК под влиянием фермента начинает с одного конца раскручиваться, и на каждой цепи из находящихся в окружающей среде свободных нуклеотидов собирается новая цепь. Сборка новой цепи идет в точном соответствии с принципом комплементарности. Против каждого А встает Т, против Г — Ц и т. д. В результате вместо одной молекулы ДНК возникают две молекулы такого же точно нуклеотидного состава, как и первоначальная. Одна цепь в каждой вновь образовавшейся молекуле ДНК происходит из первоначальной молекулы, а другая синтезируется вновь.

**Рибонуклеиновые кислоты (РНК).** Структуры РНК сходны со структурами ДНК. РНК, как и ДНК, полинуклеотиды, но, в отличие от ДНК, молекула РНК одноцепочечная. Как и в ДНК, структура РНК создается чередованием четырех типов нуклеотидов, но состав нуклеотидов РНК несколько отличается от нуклеотидов ДНК, т. е. углеводов в РНК не дезоксирибоза, а рибоза, отсюда и название РНК — рибонуклеиновая кислота. Кроме того, в РНК вместо азотистого основания тимина входит другое, близкое по строению основание, называемое урацилом (У).

В клетке имеется несколько видов РНК. Все они участвуют в синтезе белка. Первый вид — транспортные РНК (т-РНК). Это самые маленькие по размерам РНК. Они связывают аминокислоты и транспортируют их к месту синтеза белка. Вторым видом — информационные РНК (и-РНК). По размерам они раз в 10 больше т-РНК. Их функция состоит в переносе информации о структуре белка от ДНК к месту синтеза белка. Третьим видом — рибо-

сомные РНК (р-РНК). Они имеют наибольшие размеры молекулы и входят в состав рибосом.

- ?** 1. Какие виды нуклеиновых кислот обнаружены в клетке? 2. Какова биологическая роль ДНК? 3. Охарактеризуйте структуру ДНК. 4. В чем сущность принципа комплементарности? 5. Как осуществляется удвоение ДНК? 6. Какие виды РНК имеются в клетке? 7. Сравните структуры ДНК и РНК.

## 42. Обмен веществ. Аденозинтрифосфорная кислота — АТФ

**Функции обмена веществ.** Живая клетка постоянно поглощает вещества из окружающей среды и в окружающую среду выделяет их. Так, клетки человека поглощают кислород, воду, глюкозу, аминокислоты, минеральные соли, витамины, а выводят углекислый газ, воду, мочевину, мочевую кислоту и т. д.

Набор веществ, свойственный клеткам человека, присущ и многим другим клеткам живых организмов: всем животным клеткам, некоторым микроорганизмам. У клеток зеленых растений характер веществ существенно иной: пищевые вещества у них составляют углекислый газ и вода, а выделяется кислород. У некоторых бактерий, обитающих на корнях бобовых растений (вика, горох, клевер, соя), пищевым веществом служит азот атмосферы, а выводятся соли азотной кислоты. У микроорганизма, селящегося в выгребных ямах и на болотах, пищевым веществом служит сероводород, а выделяется сера, покрывая поверхность воды и почвы желтым налетом серы.

Таким образом, у клеток разных организмов характер пищевых и выделяемых веществ различается, но общий закон действителен для всех: пока клетка жива, происходит непрерывное движение веществ — из внешней среды в клетку и из клетки во внешнюю среду.

Обмен веществ выполняет две функции. Первая функция — *обеспечение клетки строительным материалом*. Из веществ, поступающих в клетку, — аминокислот, глюкозы, органических кислот, нуклеотидов — в клетке непрерывно происходит синтез белков, углеводов, липидов, нуклеиновых кислот. Из них формируется тело клетки, ее мембраны, органоиды. Реакции синтеза особенно активно идут в молодых, растущих клетках. Однако синтез веществ постоянно происходит и в клетках, закончивших рост и развитие, так как химический состав клетки в течение ее жизни многократно обновляется. Обнаружено, что «продолжительность жизни» молекул белков клетки колеблется от 2—3 ч до нескольких дней. После этого срока они разрушаются и заменяются вновь синтезированными. Таким образом клетка сохраняет свои функции и химический состав.

Совокупность реакций, обеспечивающих построение клетки

и обновление ее состава, носит название *пластического обмена* (греч. «пластикос» — лепной, скульптурный).

Вторая функция обмена веществ — *обеспечение клетки энергией*. Любое проявление жизнедеятельности (движение, синтез веществ, генерация тепла и др.) нуждается в затрате энергии. Для энергообеспечения клетки используется энергия химических реакций, которая освобождается в результате расщепления поступающих веществ. Эта энергия преобразуется в другие виды энергии. Совокупность реакций, обеспечивающих клетки энергией, называют *энергетическим обменом*. Пластический и энергетический обмены неразрывно связаны между собой. С одной стороны, все реакции пластического обмена нуждаются в затрате энергии. С другой стороны, для осуществления реакции энергетического обмена необходим постоянный синтез ферментов, так как «продолжительность жизни» молекул ферментов невелика.

Через пластический и энергетический обмены осуществляется связь клетки с внешней средой. Эти процессы являются основным условием поддержания жизни клетки, источником ее роста, развития и функционирования.

Живая клетка представляет собой открытую систему, поскольку между клеткой и окружающей средой постоянно происходит обмен веществ и энергии.

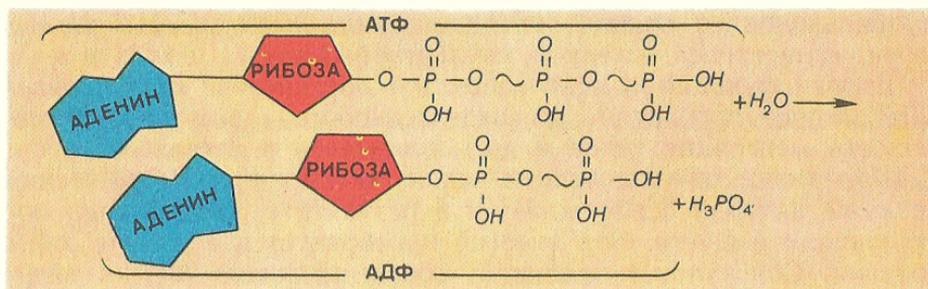
**Роль АТФ в энергетическом и пластическом обменах клетки.** В каждой клетке содержится аденозинтрифосфорная кислота (АТФ). По химической структуре АТФ относится к нуклеотидам (с. 158). В ней, как в каждом нуклеотиде, содержатся остатки азотистого основания (аденина), углевода (рибозы) и фосфорной кислоты 79 . Вместе с тем АТФ существенно отличается от обычных нуклеотидов: вместо одного остатка фосфорной кислоты в ней содержатся три остатка.

Как известно, реакция содержимого клетки в норме близка к нейтральной. Ясно, что АТФ находится в клетке не в виде кислоты, а в виде соли. Следовательно, в этих условиях в ее фосфорных остатках вместо —ОН групп присутствуют отрицательно заряженные атомы кислорода (—О). Одноименные близко расположенные заряды отталкиваются друг от друга. Молекулярная структура АТФ таким образом нестабильна. Под влиянием специфических ферментов она подвергается гидролизу, т. е. присоединяет молекулу воды и расщепляется:



Концевой фосфорный остаток дает при этом фосфорную кислоту, а АТФ превращается в АДФ, т. е. аденозиндифосфорную кислоту. Эта реакция сопровождается освобождением энергии (порядка 40 кДж/моль).

АТФ играет центральную роль в энергетическом обмене клетки. Она является непосредственным источником энергообеспечения любой клеточной функции. Движение, биосинтез, генерация электричества, света и т. д. — любые виды клеточной активности



79. Структура АТФ. Превращение АТФ в АДФ ( $\infty$  — макроэргическая связь).

совершаются за счет энергии, освобождаемой в результате указанной выше реакции гидролиза АТФ.

Но запас АТФ в клетке невелик. Так, в мышце запаса АТФ хватает на 20—30 сокращений. Но ведь мышца может работать часами и производить тысячи сокращений. Вот почему наряду с распадом АТФ необходим непрерывный ее синтез. Для восполнения израсходованной АТФ и используется энергия, освобождаемая в результате расщепления углеводов, липидов и других веществ. При усиленной, но кратковременной работе, например при беге на короткие дистанции, мышцы работают исключительно за счет расщепления содержащейся в них АТФ. После окончания бега человек усиленно дышит — в этот период происходит расщепление углеводов и других веществ, и запас АТФ в клетках восстанавливается.

Таким образом, АТФ — единый и универсальный источник энергообеспечения клетки.

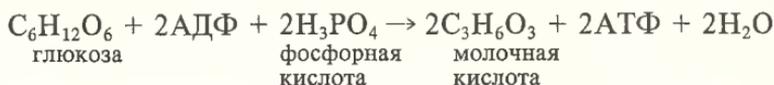
? 1. Охарактеризуйте функции обмена веществ. 2. Охарактеризуйте структуру АТФ. 3. Каково значение АТФ для жизнедеятельности клетки? 4. Почему в клетке непрерывно происходит синтез АТФ? 5. Где и каким образом происходит синтез АТФ в клетке?

### 43. Энергетический обмен в клетке. Синтез АТФ

Синтез АТФ в небольших объемах происходит в цитоплазме, но главным образом в митохондриях, поэтому они и получили название «силовых станций» клетки.

В клетках человека, многих животных и некоторых микроорганизмов главным поставщиком энергии для синтеза АТФ является глюкоза. Расщепление глюкозы в клетке, в результате которого происходит синтез АТФ, осуществляется в две следующих друг за другом стадии. Первую стадию называют *гликолизом*, или *бескислородным расщеплением*. Вторую стадию называют *дыханием*, или *кислородным расщеплением*.

**Гликолиз (бескислородное расщепление).** Рассмотрим итоговое уравнение бескислородного расщепления:



Из уравнения видно, что в процессе гликолиза кислород не участвует (поэтому стадия эта и называется бескислородным расщеплением). Обязательными участниками гликолиза являются АДФ и фосфорная кислота. Оба эти вещества всегда имеются в клетке, так как они постоянно образуются в результате ее жизнедеятельности. В процессе гликолиза вследствие расщепления 1 молекулы глюкозы образуются 2 молекулы АТФ.

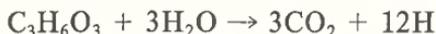
Итоговое уравнение не дает представления о механизме процесса. Гликолиз – процесс сложный, многоступенчатый. Он представляет собой каскад следующих друг за другом 10 реакций. Каждую реакцию катализирует особый фермент. В результате каждой реакции освобождается небольшое количество энергии, а в сумме получается величина порядка 200 кДж/моль глюкозы. Часть этой энергии (60%) рассеивается в виде теплоты, а часть (40%) сберегается в форме АТФ.

В клетках человека и животных глюкоза в ходе гликолиза расщепляется до молочной кислоты. Этот вид гликолиза присущ также некоторым видам бактерий и грибов и лежит в основе приготовления кислого молока, простокваши, кефира. Дрожжевые грибки в процессе синтеза АТФ расщепляют глюкозу до этилового спирта и оксида углерода (IV). Происходит так называемое *спиртовое брожение*.

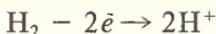
Промежуточные реакции гликолиза и спиртового брожения сходны. На спиртовом брожении основано приготовление вина, пива, кваса. Тесто, замешанное на дрожжах, дает пористый вкусный хлеб.

**Дыхание.** После завершения гликолиза следует вторая стадия – дыхание, или *кислородное расщепление*. В кислородном процессе принимают участие, кроме субстратов, многочисленные ферменты, молекулы-переносчики, вода, молекулярный кислород. *Основное условие нормального течения кислородного процесса – целостность митохондриальных мембран.*

Конечный продукт гликолиза – молочная кислота – проникает в митохондрии, где она полностью разрушается:



Образовавшийся оксид углерода (IV) свободно проникает через мембраны и удаляется в окружающую среду. Атомы водорода подхватываются молекулами-переносчиками и переправляются во внутреннюю митохондриальную мембрану, где они окисляются, т.е. теряют электроны:



Электроны и ионы водорода ( $\text{H}^+$ ) молекулами-переносчиками транспортируются в противоположные стороны: электроны на внутреннюю сторону мембраны, а ионы водорода на наружную сторону 80.

*Неповрежденная митохондриальная мембрана для ионов непроницаема*, поэтому на наружной стороне мембраны нарастает концентрация ионов  $\text{H}^+$ . Вследствие увеличения концентрации ионов эта зона приобретает положительный заряд. На внутренней стороне мембраны электроны вместе с ионами  $\text{H}^+$  реагируют с молекулярным кислородом:

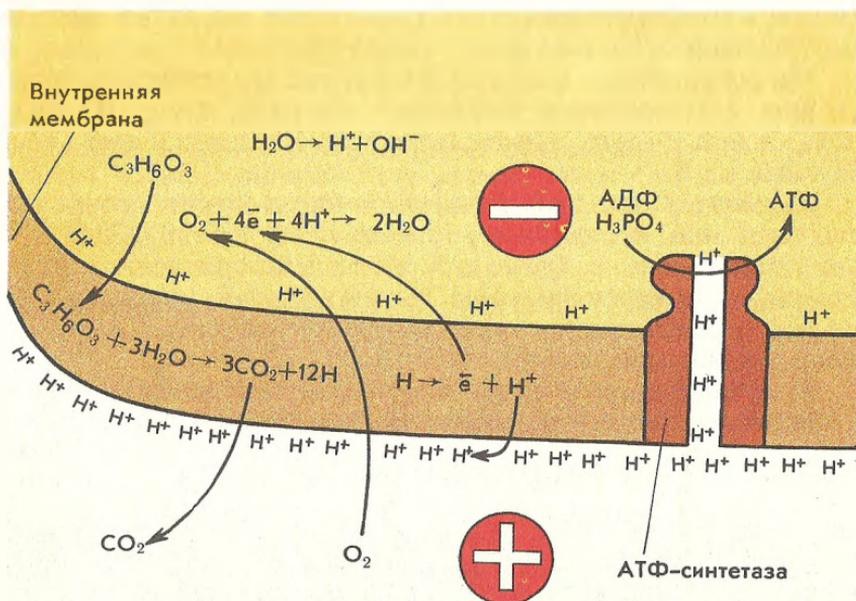


(молекулярный кислород диффундирует в митохондрии из окружающей среды, а ионы  $\text{H}^+$  поставляет вода:



В результате на внутренней стороне мембраны уменьшается концентрация ионов  $\text{H}^+$  и, следовательно, увеличивается концентрация ионов  $\text{OH}^-$ . Эта сторона мембраны подщелачивается и становится электроотрицательной.

По мере увеличения концентрации противоположно заряжен-



ных частиц по обеим сторонам мембраны между ними растет разность потенциалов.

Установлено, что в некоторых участках мембраны встроены молекулы фермента, синтезирующего АТФ (АТФ-синтетаза). В молекуле АТФ-синтетазы имеется канал, через который могут пройти ионы  $H^+$ . Это происходит, однако, в том случае, если разность потенциалов на мембране достигнет некоторого критического уровня (около 200 мВ). По достижении этого значения силой электрического поля ионы  $H^+$  проталкиваются через канал в молекуле АТФ-синтетазы, переходят на внутреннюю сторону мембраны, возобновляя там содержание ионов  $H^+$ , израсходованных в реакции восстановления молекулярного кислорода.

При прохождении ионов  $H^+$  через канал в молекуле АТФ-синтетазы происходит синтез АТФ из АДФ и неорганической фосфорной кислоты.

Многие реакции кислородного процесса (окисление атомов водорода, перенос электронов, реакция восстановления кислорода и др.) сопровождаются освобождением энергии. В сумме собирается весьма внушительная величина – 2600 кДж на каждые 2 моля молочной кислоты при полном ее окислении. 45% этой энергии рассеивается в виде теплоты, а 55% сберегается в форме АТФ.

Процесс кислородного расщепления молочной кислоты выражается уравнением:



Просуммировав это уравнение с уравнением гликолиза, получим:  $C_6H_{12}O_6 + 6O_2 + 38АДФ + 38H_3PO_4 \rightarrow 38АТФ + 6CO_2 + 44H_2O$  Это уравнение описывает синтез АТФ в результате полного, т.е. бескислородного и кислородного процессов, расщепления молекулы глюкозы.

Материал этого параграфа позволяет сделать некоторые выводы, ответить на вопросы и решить задачу:

1. Синтез АТФ в процессе гликолиза не нуждается в мембранах. Он идет и в пробирке, если имеются все необходимые субстраты и ферменты. Для осуществления кислородного процесса необходимо наличие неповрежденных митохондриальных мембран, так как решающую роль играют происходящие на них электрические явления.

2. Расщепление в клетке 1 молекулы глюкозы до оксида углерода (IV) и воды обеспечивает синтез 38 молекул АТФ. Из них в бескислородную стадию синтезируются 2 молекулы, а в кислородную – 36. Кислородный процесс, таким образом, почти в 20 раз более эффективен, чем бескислородный.

3. У новорожденных детей, детенышей животных, рождающихся голыми, у животных, впадающих в зимнюю спячку, на спине расположен жир бурого цвета. Клетки его содержат много митохондрий, мембраны которых пронизаны пораами. Ионы водорода проходят через них свободно. Подумайте: 1) возможен ли синтез АТФ в клетках бурого жира? 2) во что преобразуется в них энергия дыхания?



1. Почему для нормального течения кислородного процесса важно, чтобы митохондриальные мембраны были не повреждены?
2. Почему организмы, обитающие в бескислородной среде, поглощают большое количество пищи?

#### 44. Пластический обмен.

##### Биосинтез белков. Синтез и-РНК

**Значение биосинтеза белков.** Из реакций пластического обмена важнейшее значение имеет биосинтез белков.

В клетке содержатся несколько тысяч разных белков. Следует вспомнить (с. 153), что каждый вид клеток имеет специфические белки, присущие только данному виду клеток. Способность синтезировать именно свои белки передается по наследству от клетки к клетке и сохраняется в течение всей жизни. Все клетки в течение жизни синтезируют белки, так как в ходе нормальной жизнедеятельности белки постепенно денатурируются, их структура и функции нарушаются. Такие молекулы белков удаляются из клетки и заменяются новыми полноценными молекулами. Благодаря этому жизнедеятельность клетки сохраняется.

**Код ДНК.** Основная роль в определении структуры синтезируемого белка принадлежит ДНК. В молекуле нитевидной ДНК заключена информация о первичной структуре белков данной клетки. *Отрезок молекулы ДНК, содержащий информацию о первичной структуре одного определенного белка, называется геном.* В молекуле ДНК содержится несколько сотен генов.

Чтобы разобраться в том, каким образом в ДНК запрограммирована первичная структура белка, воспользуемся аналогией. Многие знают об азбуке Морзе, при помощи которой передают сигналы и телеграммы. По азбуке Морзе все буквы алфавита, знаки препинания и цифры обозначаются комбинациями коротких (точка) и длинных (тире) сигналов. Собрание условных знаков, применяемых для сообщений по телеграфу, радио, называется кодом или шифром. Азбука Морзе представляет собой пример кода.

В живой природе в процессе эволюции выработался код, называемый кодом ДНК: на молекулах ДНК записана и хранится информация о первичной структуре всех белков данной клетки.

Вспомним, что ДНК представляет собой цепь из последовательно расположенных нуклеотидов (с. 158), а белок — цепь из последовательно расположенных аминокислот (с. 149). Как в коде Морзе каждой букве соответствует определенное сочетание точек и тире, так в коде ДНК определенные сочетания последовательно расположенных нуклеотидов соответствуют определенным аминокислотам в молекуле белка.

Чтобы узнать записанную на молекуле ДНК информацию о первичной структуре белка, нужно знать код ДНК, т. е. знать, какое сочетание нуклеотидов соответствует каждой аминокислоте. Так как нуклеотидов всего 4 вида (с. 159), а аминокислот —



формация о структуре белка зашифрована в ДНК, расположенной в ядре. Как же информация из ядра поступает в цитоплазму к рибосомам? Передача информации осуществляется с помощью и-РНК, которые синтезируются на одной из цепей участка молекулы ДНК — гена — и в точности повторяют его структуру.

Чтобы понять, каким образом состав и последовательность расположения нуклеотидов в гене могут быть «переписаны» на и-РНК, вспомним принцип комплементарности, на основании которого построена двухспиральная молекула ДНК (с. 160). Этот принцип действует и при синтезе и-РНК. Как это происходит, поясняет рисунок 81. Против каждого нуклеотида одной из цепей ДНК встает комплементарный нуклеотид и-РНК. (Напомним, что в РНК вместо нуклеотида с азотистым основанием Т присутствует нуклеотид с азотистым основанием У.) Таким образом, против Г<sub>днк</sub> встает Ц<sub>рнк</sub>, против Ц<sub>днк</sub> — Г<sub>рнк</sub>, против А<sub>днк</sub> — У<sub>рнк</sub>, против Т<sub>днк</sub> — А<sub>рнк</sub>. В результате образующаяся цепочка и-РНК представляет собой точную копию второй цепи.

Таким путем информация, содержащаяся в гене, как бы переписывается на и-РНК. Этот процесс называется *транскрипцией* (лат. «транскрипцио» — переписывание). Затем молекулы и-РНК направляются к месту синтеза белка, т. е. к рибосомам. Туда же из цитоплазмы поступают аминокислоты, из которых строится белок. В цитоплазме клеток всегда имеются аминокислоты, образующиеся в результате расщепления белков пищи.

**Транспортные РНК.** Каждая аминокислота попадает в рибосому в сопровождении специализированной транспортной РНК (т-РНК). Так как в построении природных белков участвуют 20 разных аминокислот, то, очевидно, существуют не менее 20 разных т-РНК. Известно, что в ряде мест цепочки т-РНК имеются 4—7 последовательных нуклеотидных звеньев, комплементарных друг другу. На рисунке 82 эти участки обозначены буквами А, Б, В, Г. В этих участках между комплементарными нуклеотидами образуются водородные связи. В результате возникает сложная петлистая структура, похожая по форме на листок клевера. У его верхушки (на рисунке обозначена буквой Е) расположен триплет нуклеотидов, который по генетическому коду соответствует определенной аминокислоте. Этот триплет называют кодовым триплетом. У ножки «листка клевера» (на рисунке буква Д) находится участок, связывающий аминокислоту.

Нуклеотидный состав кодовых триплетов т-РНК комплементарен нуклеотидному составу триплетов и-РНК. Так, кодовый триплет аланиновой т-РНК — ЦГА (в и-РНК ему комплементарен триплет ГЦУ), кодовый триплет валиновой т-РНК — ЦАА (в и-РНК ему комплементарен триплет ГУУ; проверьте по таблице генетического кода). У т-РНК, изображенной на рисунке 83, кодовый триплет УУУ. Этот триплет соответствует аминокислоте лизину — лизиновая т-РНК. Она присоединяет и транспортирует в рибосому аминокислоту лизин.

В таблице приведен состав триплетов, которыми закодированы все 20 аминокислот (названия аминокислот сокращены, см. с. 149). Так как при синтезе полипептидной цепи информация считывается с и-РНК, то назван состав триплетов нуклеотидов и-РНК (в скобках — комплементарные основания ДНК).

Генетический код

Первое основание	Второе основание				Третье основание
	У (А)	Ц (Г)	А (Т)	Г (Ц)	
У (А)	Фен Фен Лей Лей	Сер Сер Сер Сер	Тир Тир — —	Цис Цис — Три	У (А) Ц (Г) А (Т) Г (Ц)
Ц (Г)	Лей Лей Лей Лей	Про Про Про Про	Гис Гис Глн Глн	Арг Арг Арг Арг	У (А) Ц (Г) А (Т) Г (Ц)
А (Т)	Иле Иле Иле Мет	Тре Тре Тре Тре	Асн Асн Лиз Лиз	Сер Сер Арг Арг	У (А) Ц (Г) А (Т) Г (Ц)
Г (Ц)	Вал Вал Вал Вал	Ала Ала Ала Ала	Асп Асп Глу Глу	Гли Гли Гли Гли	У (А) Ц (Г) А (Т) Г (Ц)

Пользоваться таблицей просто. Первый нуклеотид в триплете берется из левого вертикального ряда, второй — из верхнего горизонтального и третий — из правого вертикального. Там, где пересекутся линии, идущие от всех трех нуклеотидов, и находится искомая аминокислота. Допустим, нужно узнать, о какой аминокислоте несет информацию триплет УГГ в и-РНК. Слева по вертикали берем У, сверху — Г, справа по вертикали — Г. Линии пересекаются на «Три», т. е. триптофан. В ДНК эта аминокислота закодирована триплетом АЦЦ.

1. Какую роль играет ДНК в процессе биосинтеза белка? 2. Что представляет собой код ДНК? 3. Как происходит транскрипция? 4. Пользуясь таблицей кода ДНК, определите, какие аминокислоты кодируют триплеты ЦАТ, ТТТ, ГАТ. Какими триплетами закодированы аминокислоты вал, фен, три? 5. Какую аминокислоту транспортирует т-РНК с кодовым триплетом ГГГ? 6. На фрагменте ДНК, имеющем состав Ц—А—Т—Г—Г—Ц—Т—А—Т, синтезирован фрагмент и-РНК. Укажите его состав.



## 45. Синтез полипептидной цепи на рибосоме

**Реакции матричного синтеза.** В живых системах мы встречаемся с новым типом реакций, наподобие удвоения ДНК (с. 161) или реакции синтеза РНК (с. 161). Такие реакции неизвестны

в неживой природе. Они называются реакциями матричного синтеза.

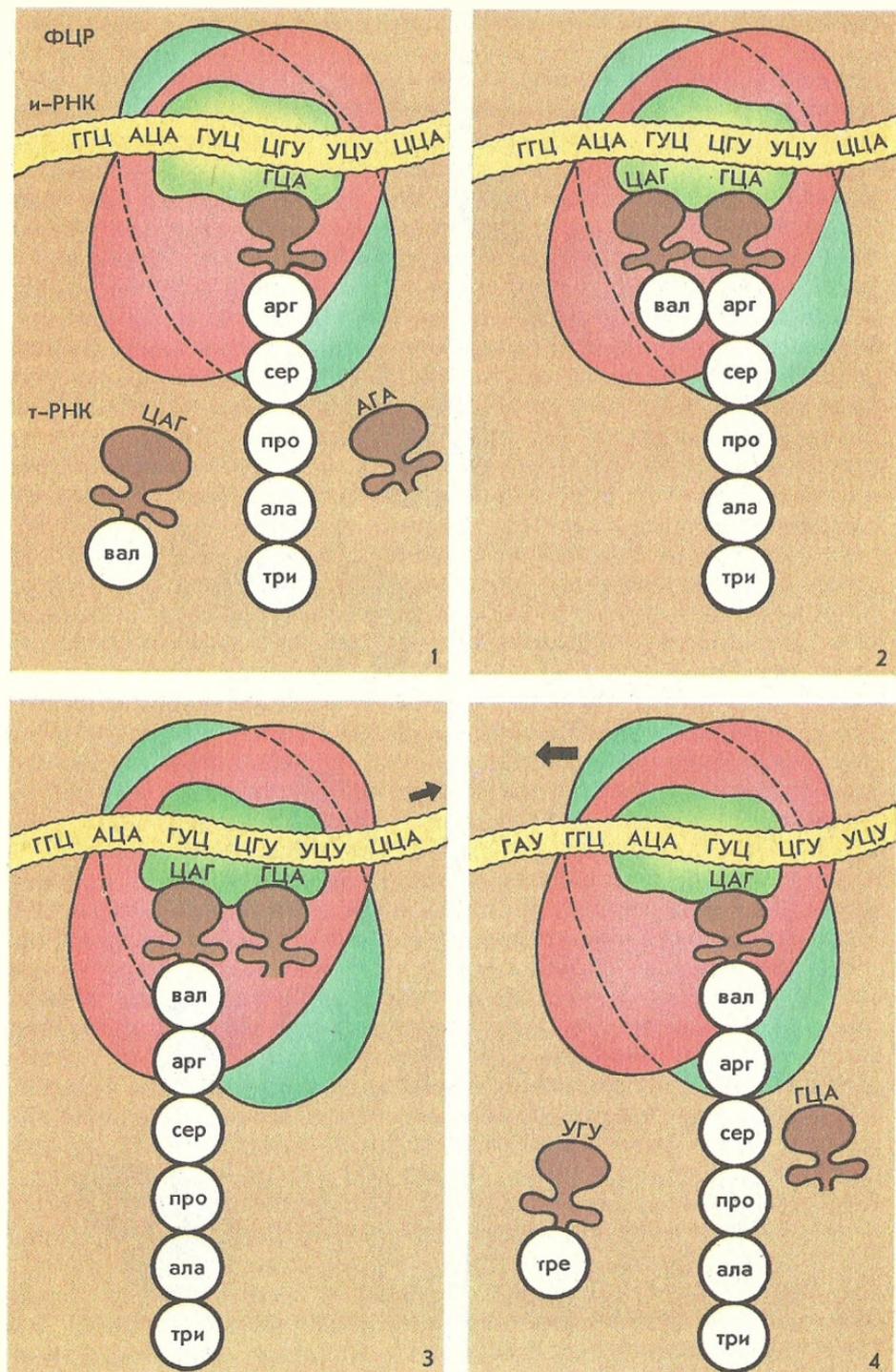
Термином «матрица» в технике обозначают форму, употребляемую для отливки монет, медалей, типографского шрифта; затвердевший металл в точности воспроизводит все детали формы, служившей для отливки. Матричный синтез напоминает отливку на матрице: новые молекулы синтезируются в точном соответствии с планом, заложенным в структуре уже существующих молекул. Матричный принцип лежит в основе важнейших реакций синтеза нуклеиновых кислот и белков. В этих реакциях обеспечивается точная последовательность мономерных звеньев в синтезируемых полимерах. Момеры поступают в определенное место на молекулы, служащие матрицей, где реакция протекает. Если бы такие реакции происходили в результате случайного столкновения молекул, они протекали бы бесконечно медленно. Синтез сложных молекул на основе матричного принципа осуществляется быстро и точно.

Роль матрицы в клетке играют макромолекулы нуклеиновых кислот ДНК или РНК. Мономерные молекулы, из которых синтезируется полимер, — нуклеотиды или аминокислоты — в соответствии с принципом комплементарности располагаются и фиксируются на матрице в строго определенном порядке. Затем происходит соединение мономерных звеньев в полимерную цепь, и готовый полимер сходит с матрицы. После этого матрица готова к сборке новой точно такой же полимерной молекулы.

Реакции матричного типа — специфическая особенность живой клетки. Они являются основой фундаментального свойства всего живого — способности к воспроизведению себе подобного.

**Трансляция.** Информация о структуре белка, записанная в и-РНК в виде последовательности нуклеотидов, реализуется в виде последовательности аминокислот в синтезируемой молекуле белка. Этот процесс называют *трансляцией* (лат. «трансляцио» — перенесение, перевод). Для того чтобы понять, как в рибосомах происходит трансляция, обратимся к рисунку 83. Рибосомы на рисунке изображены в виде яйцевидных тел, нанизанных на и-РНК. Первая рибосома вступает на нитевидную молекулу и-РНК с левого конца и начинает синтез белка. По мере сборки белковой молекулы рибосома ползет по и-РНК (на рисунке сверху вниз). Когда рибосома продвинется вперед, с того же конца на и-РНК входит вторая рибосома, которая, как и первая, начинает синтез и движется вслед за первой рибосомой. Затем на и-РНК вступает третья рибосома, четвертая и т. д. Все они выполняют одну и ту же работу: каждая синтезирует один и тот же белок, запрограммированный на данной и-РНК. Чем дальше продвинулась рибосома по и-РНК, тем больший отрезок белковой молекулы «собран». Когда рибосома достигает противоположного конца и-РНК, синтез окончен. Рибосома с образовавшимся белком сходит с и-РНК. Затем они расходятся: ри-





84. Механизм работы рибосомы.

босома — на любую и-РНК (так как она способна к синтезу любого белка; характер белка зависит от матрицы и-РНК), белковая молекула — в эндоплазматическую сеть и по ней перемещается в тот участок клетки, где требуется данный вид белка. С левого конца и-РНК на нее вступают все новые и новые рибосомы, и синтез белка идет непрерывно. Число рибосом, уместяющихся одновременно на молекуле и-РНК, зависит от ее длины. Так, на молекуле и-РНК, которая программирует синтез белка гемоглобина, помещается до пяти рибосом.

Механизм работы рибосомы поясняет рисунок 84.

Размер участка рибосомы, в котором происходит трансляция, соответствует длине 6 нуклеотидов, т. е. двум триплетам. Следовательно, когда рибосома скользит по и-РНК, в функциональном центре рибосомы (ФЦР) всегда одновременно находятся 2 соседних триплета нуклеотидов.

Рибосома перемещается по и-РНК с триплета на триплет, но не плавно, а прерывисто, «шажками». Закончив трансляцию одного триплета, она перескакивает на соседний триплет и на мгновение останавливается. Операция трансляции занимает не более  $\frac{1}{5}$ — $\frac{1}{6}$  с, и полипептидная цепь удлиняется на одно звено. Далее следует «шажок» на соседний триплет, снова короткая остановка, и так до конца пути по и-РНК.

На рисунке 84,1 изображена рибосома, перемещающаяся по и-РНК. Как видно, рибосома уже прошла некоторый путь по и-РНК, она уже транслировала несколько триплетов, и в результате синтезирован небольшой полипептид, который свисает с рибосомы. На рисунке 84,2 изображен момент, когда рибосома только что закончила трансляцию триплета ЦГУ. Сейчас в ФЦР находятся два триплета и-РНК: ЦГУ и ГУЦ. ЦГУ — это триплет, трансляция которого закончена; ГУЦ — это триплет, трансляция которого начинается. ГУЦ пока свободен, а ЦГУ комплементарно связан с т-РНК, с которой свисает полипептидная цепочка.

На рисунке 84,3 показан момент, когда в ГУЦ по правилу комплементарности присоединяется кодовым триплетом т-РНК, несущая аминокислоту валин (вал). Доставленная аминокислота (вал) и верхний аминокислотный остаток полипептидной цепи (арг) оказываются рядом. Между ними возникает пептидная связь. Полипептидная цепь удлиняется на одно звено.

На рисунке 84,3 полипептидная цепочка перебрасывается с правого нуклеотида (ЦГУ) на левый (ГУЦ) и повисает на нем.

На рисунке 84,4 рибосома скачком перемещается на следующий триплет. Триплет ЦГУ с его т-РНК оказывается за пределами ФЦР, т-РНК отрывается от ЦГУ и выталкивается из рибосомы. Далее все стадии повторяются, и полипептидная цепь растет звено за звеном. Так работает рибосома — этот удивительный органоид клетки, который по праву называют «молекулярным автоматом» синтеза белка.

Совсем недавно, в начале 50-х годов, впервые белок был

синтезирован искусственно. Это был инсулин, полипептидная цепь которого состоит всего из 51 аминокислотного остатка. Для его синтеза потребовалось провести около 5000 операций. В этой работе принимали участие 10 человек в течение трех лет. Как видите, в лабораторных условиях синтез белка требует огромных усилий, времени и средств. В живой клетке синтез одной молекулы белка, состоящей из 200—300 аминокислотных звеньев, завершается очень быстро — в 1—2 мин.

**Роль ферментов в биосинтезе белка.** Синтез белка не идет без участия ферментов. Все реакции белкового синтеза катализируются специальными ферментами. С участием ферментов происходит синтез ДНК, и-РНК. Существуют особые ферменты, обеспечивающие захват и соединение аминокислот с их т-РНК. Наконец, в рибосоме в процессе сборки белка работает фермент, сцепляющий аминокислоты между собой.

**Энергетика биосинтеза белка.** Любой процесс синтеза нуждается в затратах энергии. Биосинтез белка представляет цепь синтетических реакций: синтез и-РНК; соединение аминокислот с т-РНК; «сборка» белка. Все эти реакции требуют энергетических затрат. Энергия для синтеза белка освобождается при расщеплении АТФ.



1. В основе каких реакций синтеза в клетке лежит матричный принцип?
2. Какой этап биосинтеза белка называют трансляцией?
3. Участок ДНК содержит последовательно расположенные нуклеотиды А—А—Г—Т—Г—Т—Г—А—Ц—Т—Т—А. Укажите аминокислотный состав белковой цепи, соответствующий этому участку ДНК.
4. На каких структурах протекает синтез белка в клетке?
5. Какое время требуется для синтеза одной молекулы белка в клетке?



## 46. Особенности пластического и энергетического обменов растительной клетки

**Фотосинтез.** Пластический и энергетический обмены в клетках растений и животных сходны. В клетках растений протекают те же этапы энергетического обмена — бескислородный и кислородный процессы. Однако в клетках растений, содержащих хлорофилл, кроме того, протекают специфические процессы, имеющие большое значение для живой природы. Растительные клетки способны синтезировать органические вещества из простых неорганических соединений, используя для этого энергию солнечного излучения. *Синтез органических соединений, идущий за счет энергии солнечного излучения, называется фотосинтезом.*

Фотосинтез выражается следующим суммарным уравнением:



В ходе этого процесса из веществ, бедных энергией, — оксида углерода (IV) и воды — образуется углевод глюкоза

( $C_6H_{12}O_6$ ) — богатое энергией вещество. В результате фотосинтеза образуется также молекулярный кислород.

**Световая фаза фотосинтеза.** Фотосинтез — это сложный многоступенчатый процесс. Центральная роль в нем принадлежит хлорофиллу — органическому веществу, которое преобразует энергию солнечного излучения в энергию химических связей.

Молекулы хлорофилла встроены в мембранные структуры хлоропласта (граны) и находятся в окружении молекул белков, липидов и других веществ.

Процесс фотосинтеза начинается с освещения хлоропласта видимым светом **85**. Фотон, попав в молекулу хлорофилла, приводит ее в возбужденное состояние: ее электроны перескакивают на высшие орбиты, т. е. на орбиты, более удаленные от ядра. Благодаря этому облегчается отрыв электронов от молекулы. Один из таких возбужденных электронов переходит на молекулу-переносчика, который уносит его и переправляет на другую сторону мембраны. Молекула хлорофилла восстанавливает потерю электрона, отбирая его от молекулы воды.

В результате потери электронов молекулы воды разлагаются на протоны и атомы кислорода. Из атомов кислорода образуется молекулярный кислород, который диффундирует через мембрану и выделяется в атмосферу. Протоны же неспособны к диффузии через мембрану и накапливаются в гране. Таким образом, по одну сторону мембраны собираются положительно заряженные протоны, по другую — частицы с отрицательным зарядом.

По мере накопления по обеим сторонам мембраны противоположно заряженных частиц нарастает разность потенциалов (протонный потенциал). Так же как в мембраны митохондрий, в мембраны гран встроены молекулы фермента, синтезирующего АТФ (АТФ-синтаза). Внутри АТФ-синтазы имеется канал, через который могут пройти протоны. Когда величина протонного потенциала достигает критического уровня, сила электрического поля проталкивает протоны через канал в молекуле АТФ-синтазы. Освобождающаяся при этом энергия тратится на синтез АТФ. Образовавшаяся АТФ переправляется в те места хлоропласта, где происходит синтез углеводов.

Протоны, оказавшиеся на другой стороне мембраны, встречаются здесь с электронами, доставленными молекулами-переносчиками. Они превращаются в атомы водорода, которые переправляются в те места хлоропласта, где идет синтез углеводов.

Таким образом, энергия солнечного излучения порождает три процесса: образование молекулярного кислорода в результате разложения воды, синтез АТФ, образование атомарного водорода. Эти три процесса происходят на свету и являются составляющими *световой фазы* фотосинтеза.

**Темновая фаза фотосинтеза.** Дальнейшие реакции фотосинтеза связаны с образованием углеводов. Они протекают как на свету, так и в темноте и называются *темновой фазой*. Темновая

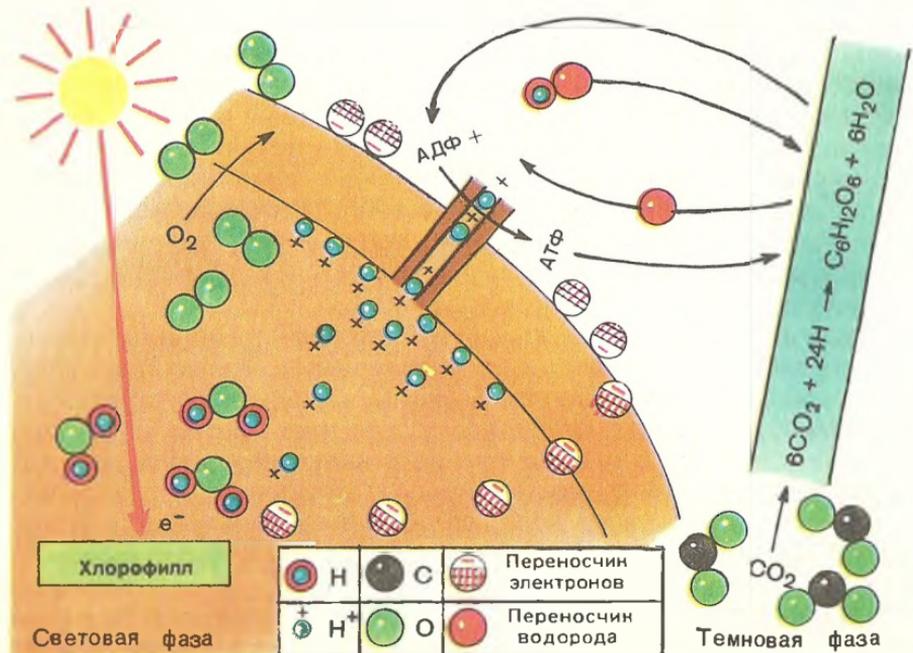
фаза фотосинтеза представляет собой ряд последовательных реакций. В результате этих реакций из оксида углерода (IV) и воды образуются углеводы.

Для темновых реакций в хлоропласт непрерывно поступают исходные вещества и энергия. Оксид углерода (IV) поступает в лист из окружающей атмосферы, водород образуется в световую фазу фотосинтеза в результате расщепления воды. Источником энергии служит АТФ, которая синтезируется в световую фазу фотосинтеза. Все эти вещества транспортируются в хлоропласт, где и осуществляется синтез углеводов.

**Значение фотосинтеза для живой природы.** В изучение роли света и хлорофилла в процессе усвоения углекислого газа — оксида углерода (IV) — при фотосинтезе большой вклад внес крупнейший русский ученый К. А. Тимирязев. Непревзойденный популяризатор знаний по фотосинтезу, он писал так: «Это процесс, от которого в конечной инстанции зависят все проявления жизни на нашей планете». Такое утверждение вполне обоснованно, так как фотосинтез — основной поставщик не только органических соединений, но и свободного кислорода на Земле.

Общая продуктивность фотосинтеза громадна: ежегодно растительность Земли связывает  $1,7 \cdot 10^8$  т углерода. Помимо того, растения вовлекают в синтез миллиарды тонн азота, фосфора, серы, кальция, магния, калия и других элементов. В результате ежегодно синтезируется около  $4 \cdot 10^7$  т органических веществ.

При всей грандиозности масштабов природный фотосинтез —



85. Схема фотосинтеза.

медленный и малоэффективный процесс: зеленый лист использует для фотосинтеза всего около 1% падающего на него солнечного излучения. Продуктивность фотосинтеза составляет примерно 1 г органических веществ на 1 м<sup>2</sup> площади листьев в час. Таким образом, летом за сутки 1 м<sup>2</sup> листы вырабатывает примерно 15—16 г органических веществ. Повысить эффективность фотосинтеза можно вследствие улучшения освещенности, водоснабжения растений и других условий.

Следует напомнить, что растительные клетки, как и все другие клетки, постоянно дышат, т. е. поглощают кислород и выделяют оксид углерода IV. Днем наряду с дыханием растительные клетки преобразуют световую энергию в химическую: они синтезируют органические вещества. При этом в качестве побочного продукта реакции выделяется молекулярный кислород. Количество кислорода, выделяемого растительной клеткой в процессе фотосинтеза, в 20—30 раз больше, чем кислорода, поглощаемого в одновременно идущем процессе дыхания.

**Хемосинтез.** Способность синтезировать органические вещества из неорганических свойственна также некоторым видам бактерий. Способ, с помощью которого они мобилизуют энергию для синтетических реакций, принципиально иной, нежели у растительных клеток. Этот тип обмена был открыт русским ученым-микробиологом С. Н. Виноградским. Бактерии обладают специальным ферментным аппаратом, позволяющим им преобразовывать энергию химических реакций, в частности энергию реакций окисления неорганических веществ, в энергию синтезируемых органических соединений. Этот процесс называют *хемосинтезом*.

Из микроорганизмов, осуществляющих хемосинтез, важны азотфиксирующие и нитрифицирующие бактерии. Источником энергии у одной группы этих бактерий служит реакция окисления аммиака в азотную кислоту. Другая группа использует энергию, выделяющуюся при окислении азотистой кислоты в азотную. Хемосинтез свойствен также для железобактерий и серобактерий. Первые из них используют энергию, освобождающуюся при окислении двухвалентного железа в трехвалентное; вторые окисляют сероводород до серной кислоты.

Роль названных микроорганизмов очень велика, особенно азотфиксирующих бактерий. Они имеют важное значение для повышения урожайности, так как в результате жизнедеятельности этих бактерий азот (N<sub>2</sub>), находящийся в воздухе, недоступный для усвоения растениями, превращается в аммиак (NH<sub>3</sub>), который хорошо ими усваивается.

1. В каких органоидах клетки протекает фотосинтез? 2. Напишите суммарное уравнение фотосинтеза, охарактеризуйте его исходные и конечные продукты. 3. Как преобразуется энергия излучения Солнца в хлоропласте? 4. Какие процессы происходят в световую фазу фотосинтеза? 5. Какие процессы происходят в темновую фазу фотосинтеза? 6. Охарактеризуйте значение зеленых растений для жизни на Земле.





## Глава VII

# Размножение и индивидуальное развитие организмов

### 47. Деление клетки. Митоз

Размножение составляет одну из важнейших характеристик сущности жизни. К размножению способны все без исключения живые организмы, от бактерий до млекопитающих. Существование каждого вида животных и растений, преемственность между родительскими особями и их потомством поддерживаются только благодаря размножению.

На молекулярном уровне процесс, который можно условно назвать размножением, выражается в уникальной способности ДНК к самоудвоению ее молекул (с. 161). На уровне клетки к размножению путем деления способны такие органоиды, как митохондрии и хлоропласты. Клетки одноклеточных и многоклеточных организмов размножаются делением. Формы размножения организмов очень разнообразны и сложны, но в основе всех способов бесполого и полового размножения лежит деление клетки.

**Митоз.** Основной способ деления эукариотических клеток — *митоз* (греч. «митос» — нить, **86** ).

Подготовка клеток к делению начинается в период интерфазы. Один из важнейших подготовительных процессов — синтез ДНК, т. е. удвоение ее молекулы, происходящее в середине периода интерфазы. Таким образом, к митозу приступают клетки, содержащие удвоенное после синтеза количество ДНК (с. 161).

В митозе различают четыре фазы: профазу, метафазу, анафазу, телофазу. Во время *профазы* в ядре появляются тонкие нити. Эти нити — хромосомы. В профазе они спирализуются и потому начинают укорачиваться и утолщаться.

К концу профазы все хромосомы становятся хорошо видны в световой микроскоп, можно определить их размеры, форму, строение, число. Каждая хромосома — это удлиненное плотное тельце, состоящее из нескольких частей, отделенных друг от друга перетяжками **87** . Различают первичную перетяжку, или центромеру (греч. «мерос» — часть). На хромосоме может быть и вторичная перетяжка.

**Микроскопическая фотография митоза клетки животных.**

Профаза (внизу) — хромосомы свободно расположены в цитоплазме; метафаза (слева) — хромосомы упорядоченно лежат в одной плоскости; анафаза (вверху) — хромосомы расходятся к полюсам клетки.

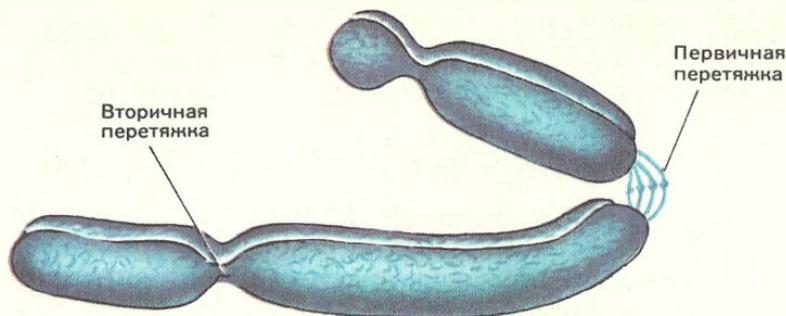
Каждая хромосома состоит из двух свернутых в спираль нитей (молекул) ДНК, которые называют *хроматидами* или дочерними хромосомами.

Во время профазы centrioles, а их две в каждой клетке, расходятся **86** к противоположным полюсам клетки и между ними образуется *веретено деления*. В конце профазы ядерная оболочка растворяется и хромосомы свободно располагаются в цитоплазме, ядрышки исчезают.

За профазой следует *метафаза* митоза. Во время метафазы завершается образование веретена деления и хромосомы располагаются в экваториальной плоскости веретена. Хромосомы образуют метафазную пластинку, и каждая хромосома прикрепляется своим центральным участком (центромерой) к одной из нитей веретена. У каждой хромосомы происходит отделение, обособление хроматид друг от друга **86**.

Когда все хромосомы оказываются прикрепленными к нитям веретена, хроматиды каждой хромосомы начинают расходиться к полюсам клетки: к одному полюсу отходит одна хроматида, к противоположному — другая. Начало расхождения хроматид к полюсам клетки означает, что наступила следующая фаза митоза — *анафаза*. Во время анафазы хроматиды (дочерние хромосомы) расходятся к полюсам клетки. Движение хромосом осуществ-





### 87. Строение хромосомы.

вляется благодаря нитям веретена, которые сокращаются и растягивают дочерние хромосомы от экватора к полюсам клетки (рис. 86). При движении хромосом используется энергия АТФ.

Последняя фаза митоза — *телофаза*. Во время телофазы приблизившиеся к полюсам клетки хромосомы начинают раскручиваться и снова приобретают форму длинных нитей, переплетающихся друг с другом, что характерно для неделящегося ядра **86**. В дочерних ядрах вновь образуется ядерная оболочка, формируется ядрышко и полностью восстанавливается характерное для интерфазы строение ядра. На протяжении телофазы происходит и деление цитоплазмы, в результате которого две дочерние клетки отделяются друг от друга. Эти клетки по строению полностью сходны с материнской **86**.

**Продолжительность митоза.** В жизненном цикле клетки митоз занимает значительно более короткий промежуток времени, чем интерфаза.

В большинстве клеток весь процесс митоза, от профазы до завершения телофазы, занимает 1—2 ч, а интерфаза во много раз продолжительнее.

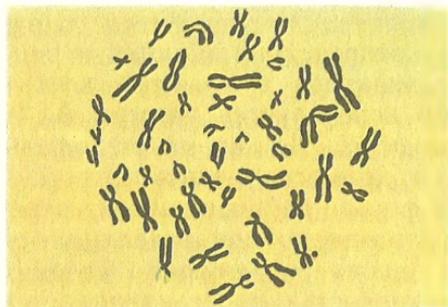
**Биологическое значение митоза.** В результате митоза каждая дочерняя клетка получает точно такие же хромосомы, какие имела материнская клетка. Число хромосом в обеих дочерних клетках равно числу хромосом материнской клетки. Следовательно, биологическое значение митоза заключается в строго равномерном распределении хромосом между ядрами двух дочерних клеток. Это значит, что митоз обеспечивает точную передачу наследственной информации каждому из дочерних ядер.

Если нарушается нормальный ход митоза и в дочерней клетке хромосом окажется меньше или больше, чем в материнской, то это приведет либо к гибели, либо к существенным изменениям в жизнедеятельности клетки — к возникновению мутаций.

**Число хромосом.** Основу генетического критерия вида составляет число хромосом в клетке, которое постоянно для каждого вида живых организмов.

Данные о количестве хромосом у некоторых видов растений и животных приведены в таблице.

Вид	Диплоидное число хромосом	Вид	Диплоидное число хромосом
Ячмень	14	Курица	78
Овес	42	Кролик	44
Томат	24	Коза	60
Скерда	6	Овца	54
Плодовая мушка		Шимпанзе	48
Дрозофила	8	Человек	46
Домашняя муха	12		



88. Диплоидный набор хромосом человека.



89. Диплоидный набор хромосом в клетках.

Хромосомы, содержащиеся в ядре одной клетки, всегда парные, т. е. в ядре имеются две одинаковые, или гомологичные, хромосомы, которые составляют одну пару. Так, 46 хромосом человека образуют 23 пары, в каждой паре две одинаковые хромосомы **88**. Хромосомы разных пар отличаются друг от друга размерами, формой, местами расположения первичных и вторичных перетяжек.

Совокупность хромосом, содержащихся в одном ядре, носит название *хромосомного набора*. Хромосомный набор характерен для каждого вида организмов. Примеры некоторых наборов хромосом приведены на рисунке **89**.

В любом многоклеточном организме различаются две категории клеток: соматические (неполовые), которые входят в состав всех тканей и органов тела, и половые клетки. Ядра соматических клеток содержат *диплоидный* (двойной) набор хромосом. Ядра половых клеток содержат *гаплоидный*, т. е. одинарный, набор хромосом. Так, если диплоидный набор ржи включает 14 хромосом, то гаплоидный набор имеет 7 хромосом. Если диплоидный набор человека содержит 46 хромосом, то гаплоидный набор равен 23 хромосомам. В гаплоидном наборе от каждой пары остается только одна хромосома.

Число хромосом и диплоидного и гаплоидного набора постоянно для каждого вида организмов.

1. Назовите фазы митоза. 2. Какие изменения претерпевают хромосомы во время митоза? 3. Какова биологическая сущность митоза? 4. В каких клетках содержится диплоидный набор хромосом? 5. Какие клетки имеют гаплоидный набор хромосом?



## 48. Формы размножения организмов

Известны две основные формы размножения организмов: бесполое и половое.

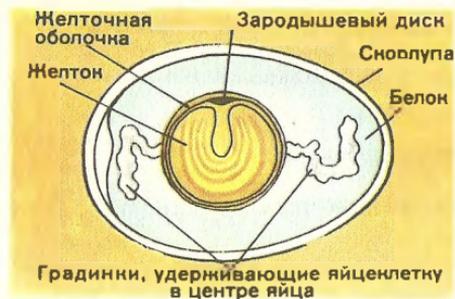
**Бесполое размножение.** В бесполом размножении принимает участие только одна родительская особь, которая делится, почкуется или образует споры. В результате формируются две или больше дочерних особей, сходных по своим наследственным признакам с родительской особью.

Бесполое размножение широко распространено у бактерий и сине-зеленых водорослей. У них отсутствует мейоз. Эти прокариотические организмы имеют наиболее простую форму бесполого размножения: их тело делится пополам и образуются две дочерние особи, каждая из которых представляет собой целый самостоятельный организм. Делением на две и больше частей размножаются простейшие (амебы, эвглены, инфузории, споровики), одноклеточные зеленые водоросли; их клетки делятся путем митоза.

Почкованием размножаются дрожжевые организмы, гидры, гидроидные и коралловые полипы и ряд других беспозвоночных. При почковании небольшой участок тела родительской особи отделяется, т. е. отпочковывается, растет и превращается в новую особь. Ряд видов плоских червей, морские звезды могут размножаться разделением их тела на несколько частей, каждая из которых восстанавливает недостающие органы и превращается в целый организм, идентичный родительской особи.

Большинство растений размножается бесполом путем с помощью спор — гаплоидных клеток, покрытых плотной оболочкой и устойчивых к действию неблагоприятных условий внешней среды. Споры образуются преимущественно у наземных растений. Водоросли и некоторые грибы, обитающие в воде, размножаются зооспорами, которые имеют жгутики и активно передвигаются в водной среде. Споры же наземных растений неподвижны и пассивно переносятся ветром, водой, животными.

Среди растений широко распространено вегетативное размножение, формы которого очень разнообразны. Многие деревья и кустарники размножаются отводками (виноград, орех, смородина, слива и др.), усам (земляника, лютик ползучий), корневыми отпрысками (лиственные и хвойные деревья, многие травы), а также порослью (на корнях и пнях деревьев). Вегетативное размножение осуществляется также луковицами (лук, тюльпан и др.), клубнями (картофель), корневищами (многолетние дикорастущие травы, ирис, мята и др.). Деревья и кустарники могут размножаться черенками.



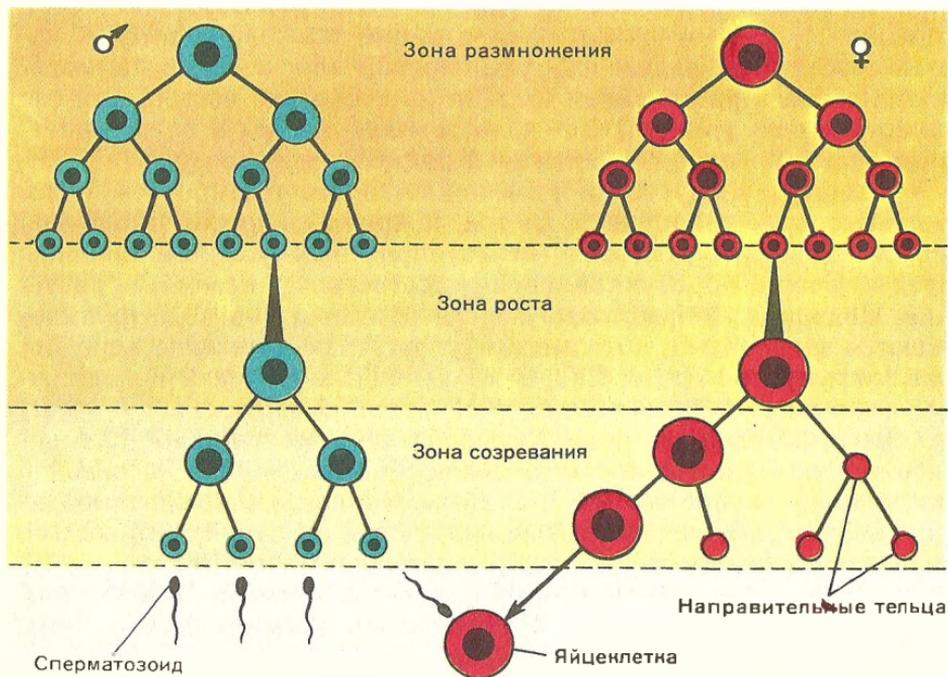
90. Строение яйца курицы.



91. Строение сперматозоида млекопитающих.

Вегетативное размножение растений имеет огромное практическое значение и широко применяется в плодоводстве при разведении всех видов плодовых деревьев и ягодных кустарников, в овощеводстве, цветоводстве, полеводстве, лесоводстве.

**Половое размножение.** В половом размножении растений и животных участвуют две особи: мужская и женская, и у каждой из них в половых органах образуются половые клетки — *гаметы*. В организме женской особи образуются *яйцелетки* **90**; у мужских особей — *сперматозоиды* **91**. Женская и мужская гаметы сливаются, и образуется зигота, или оплодотворен-



92. Схема развития сперматозоидов и яйцелетки.

ная яйцеклетка, которая дает начало развитию нового организма.

Половое размножение имеет огромное биологическое значение. Его преимущество перед бесполом размножением заключается в том, что оно создает возможность рекомбинации наследственных признаков обоих родителей. Поэтому потомство может быть более жизнеспособным, чем каждая из родительских особей. Половому размножению принадлежит важнейшая роль в эволюции организма (см. с. 19).

*Половое размножение животных.* Огромное большинство животных размножается только половым путем. Размеры и форма половых клеток различаются у разных видов беспозвоночных и позвоночных.

Яйцеклетки имеют чаще всего округлую форму, и в их цитоплазме содержится запасное питательное вещество — желток. Яйцеклетки неподвижны.

У большинства позвоночных животных яйцеклетки мелкие. Например, у кролика диаметр яйцеклетки равен 0,2 мм. У рыб, амфибий, рептилий и птиц яйцеклетки крупные и содержат много желтка. Наиболее крупных размеров достигают яйцеклетки птиц. Вспомните строение яйца птиц из курса зоологии. Яйцо птицы имеет, как это видно из рисунка , довольно сложное строение.

Мужские половые клетки — сперматозоиды — отличаются от яйцеклеток значительно меньшими размерами и подвижностью. Рассмотрите строение сперматозоида млекопитающих . Он имеет форму длинной нити, в которой различают головку, шейку, хвостик. В головке располагается ядро, содержащее ДНК. В шейке содержится центриоль. С помощью хвостика сперматозоид передвигается.

**Развитие половых клеток.** Сперматозоиды и яйцеклетки развиваются у животных в половых железах — семенниках и яичниках. В половых железах различают три разных участка, или зоны: размножения, роста, созревания половых клеток. Зона размножения располагается в самом начале половой железы. В этой зоне находятся первичные половые клетки, которые размножаются путем митоза, и число их увеличивается . Далее первичные половые клетки попадают в зону роста, где они уже не делятся, а растут, достигая тех размеров, которые свойственны половым клеткам каждого вида животных . После того как процесс роста заканчивается, половые клетки переходят в зону созревания и превращаются в яйцеклетки и сперматозоиды .

Развитие яйцеклеток и сперматозоидов происходит неодинаково. На рисунке  видно, что в зоне созревания семенника все 4 образовавшиеся после деления клетки одинаковы и все они превращаются в зрелые сперматозоиды. В зоне созревания яичника также после деления образуются 4 клетки, но они неодина-

ковы по размерам: одна клетка большая и три маленькие. Большая клетка превращается в зрелую яйцеклетку, а три маленькие клетки, называемые направительными тельцами, погибают.

? 1. В чем отличие бесполого размножения от полового? 2. Как осуществляется вегетативное размножение растений? 3. Каковы особенности строения яйцеклетки и сперматозоида?

## 49. Мейоз

**Мейоз.** Специфическое деление клеток, при котором образуются половые клетки, носит название *мейоза*.

Видовое постоянство числа хромосом в клетках поддерживается благодаря митозу, которому предшествует синтез ДНК и образование двух хроматид в каждой хромосоме. Как же поддерживается постоянство числа хромосом при половом размножении, ведь все соматические клетки содержат диплоидное, а созревшие половые клетки имеют только половинное, т. е. гаплоидное, число хромосом, следовательно, и половинное количество ДНК?

Уменьшение числа хромосом вдвое происходит в процессе созревания половых клеток. Оба деления, которые происходят в зоне созревания, представляют собой два деления мейоза.

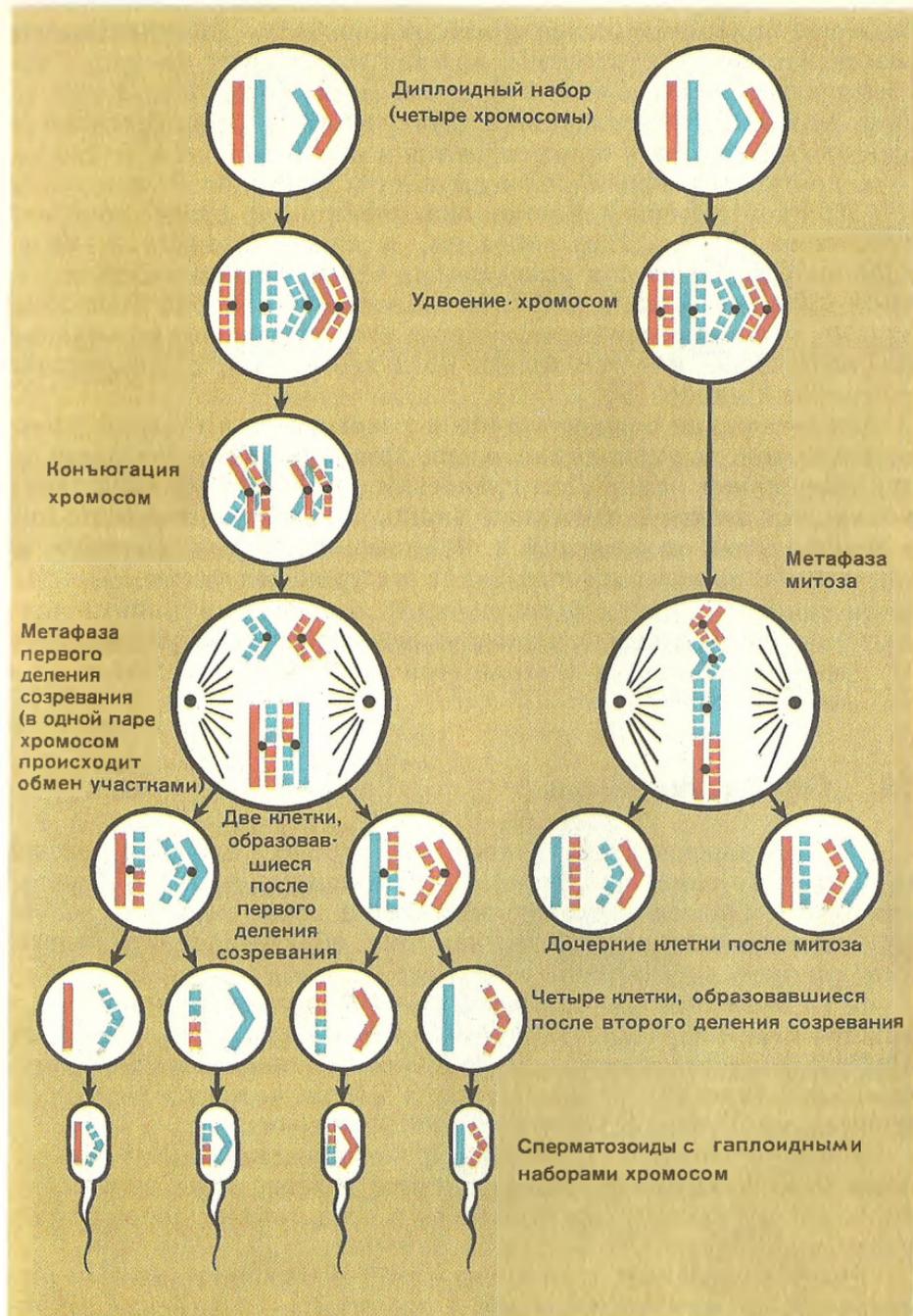
Оба деления мейоза включают те же фазы, что и митоз: профазу, метафазу, анафазу, телофазу. Перед первым делением мейоза в половых клетках, находящихся в зоне созревания, происходит синтез ДНК, а значит, и удвоение хромосом, т. е. образование двух хроматид **93**.

В *профазе* первого деления мейоза происходит спирализация хромосом. В конце профазы, когда спирализация заканчивается, хромосомы приобретают характерные для них форму и размеры. Хромосомы каждой пары, т. е. гомологичные, соединяются друг с другом по всей длине и скручиваются. Этот процесс соединения гомологичных хромосом носит название *конъюгации* **93**.

Во время конъюгации между некоторыми гомологичными хромосомами происходит обмен участками — генами, что означает и обмен наследственной информацией. После конъюгации гомологичные хромосомы отделяются друг от друга.

Когда хромосомы полностью разъединяются, образуется веретено деления, наступает *метафаза* мейоза **93** и хромосомы располагаются в плоскости экватора. Затем наступает *анафаза* мейоза, и к полюсам клетки отходят не половинки каждой хромосомы, включающие одну хроматиду, как при митозе, а целые хромосомы, каждая из которых состоит из двух хроматид. Следовательно, в дочернюю клетку попадает только одна из каждой пары гомологичных хромосом **93**.

Вслед за первым делением наступает второе деление мейоза, причем этому делению не предшествует синтез ДНК **93**.



93. Схема поведения хромосом в процессе мейоза (созревание половых клеток).

Для сравнения рядом приведена схема поведения хромосом при митозе (справа). Гомологичные хромосомы одинакового размера и формы. Различными цветами обозначены отцовские и материнские хромосомы. После удвоения одна из хромосом обозначена сплошной линией, другая — прерывистой.

Ведь еще при первом делении мейоза к полюсам дочерних клеток разошлись целые хромосомы, каждая из которых имеет по две хроматиды. После короткой профазы хромосомы, состоящие из двух хроматид, в метафазе второго деления располагаются в плоскости экватора и прикрепляются к нитям веретена. В анафазе к противоположным полюсам клетки расходятся хроматиды и в каждой дочерней клетке оказывается по одной дочерней хромосоме [93]. Таким образом, в сперматозоидах и яйцеклетках число хромосом уменьшается вдвое, как это видно на рисунке [93], где показана клетка с диплоидным набором хромосом, равным 4, а в образовавшихся после второго деления созревания сперматозоидах имеется только по 2 хромосомы, составляющие гаплоидный набор [93].

Биологическая сущность мейоза у животных, а также и у растений состоит в уменьшении числа хромосом вдвое и образовании гаплоидных гамет. Для сравнения на рисунке [93] дана схема митоза, на которой отчетливо видно, что число хромосом при делении клетки не меняется и обе дочерние клетки получают то же число хромосом, которое имела материнская клетка.



1. Как протекает мейоз? 2. В чем отличие мейоза от митоза? 3. Что такое конъюгация хромосом и каково ее значение? 4. Какова биологическая сущность мейоза?

## 50. Оплодотворение

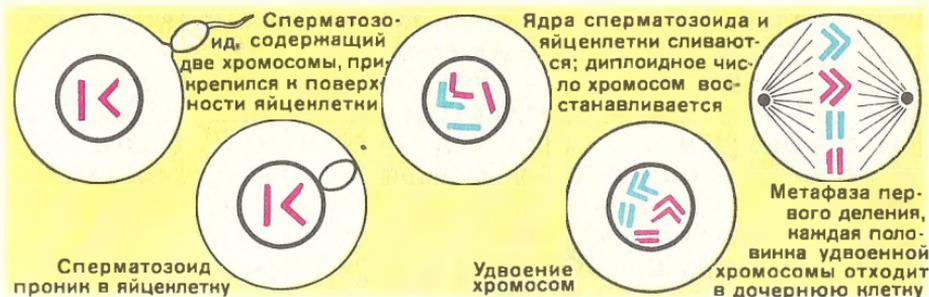
Оплодотворение представляет собой процесс слияния женской и мужской гамет — клеток с гаплоидным набором хромосом [94]. Оплодотворенная яйцеклетка носит название *зиготы* [94]. Зигота диплоидна, так как она образовалась в результате слияния двух гаплоидных гамет.

В ядре зиготы все хромосомы вновь становятся парными; в каждой паре гомологичных хромосом одна хромосома отцовская, другая — материнская. Следовательно, диплоидный набор хромосом, характерный для соматических клеток каждого вида организмов, восстанавливается при оплодотворении.

Вскоре после оплодотворения происходит синтез ДНК, хромосомы удваиваются и наступает первое деление ядра зиготы, которое осуществляется путем митоза и представляет собой начало развития зародыша — нового организма.

Развитие женских и мужских гамет и оплодотворение у растений происходит так же, как и у животных, — в женских и мужских половых органах.

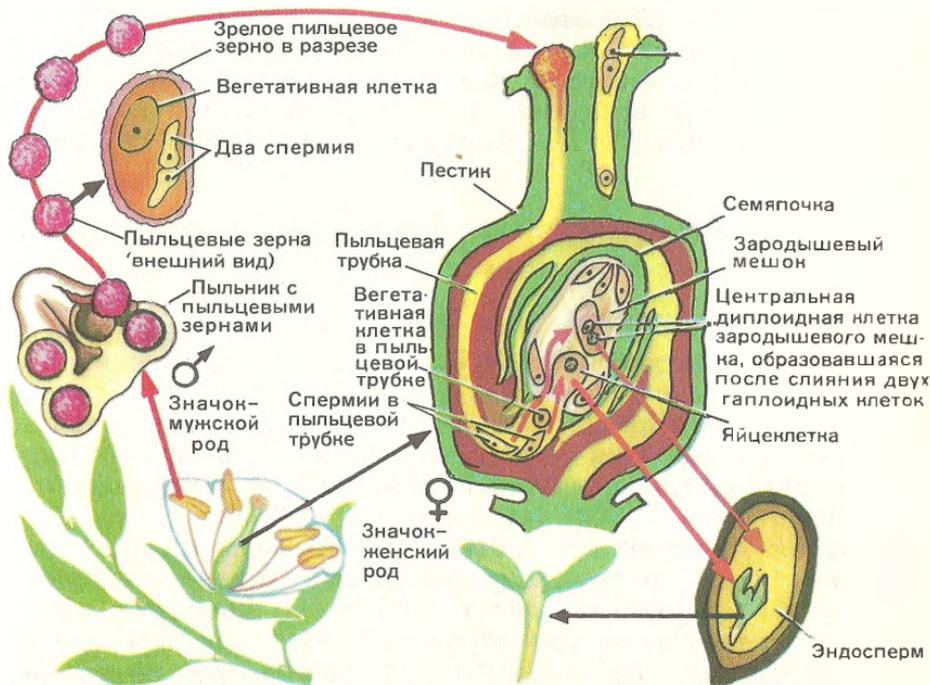
Рассмотрим процесс оплодотворения и развития семени у покрытосеменных (цветковых) растений. (Вспомните строение и функции цветка из курса ботаники.) В цветке образуются споры (бесполое размножение), возникают гаметы (половой процесс),



#### 94. Последовательные стадии оплодотворения и начала дробления яйценлетки у животных.

происходит оплодотворение, в результате которого формируются семя и плод.

У покрытосеменных растений мужские гаметы малоподвижны и называются спермиями **95**. Яйценлетка неподвижна, и образование ее происходит в зародышевом мешке **95**, расположенном в семязпочке. Зародышевый мешок содержит кроме гаплоидной яйценлетки одну диплоидную клетку, которая участ-



#### 95. Двойное оплодотворение у покрытосеменных растений.

вует в оплодотворении и лежит в центре зародышевого мешка, и несколько других гаплоидных клеток.

Спермии развиваются в пыльцевых зернах пыльников (на тычинках). С помощью пыльцевой трубки спермии переносятся к зародышевому мешку, где происходит процесс оплодотворения [95]. В пыльцевой трубке находятся два спермия. Когда пыльцевая трубка входит в зародышевый мешок, один спермий сливается с яйцеклеткой, образуя диплоидную зиготу, из которой развивается зародыш. Вторым спермием сливается с диплоидной центральной клеткой, и в результате возникает новая клетка с триплоидным ядром, т. е. в нем содержится три набора хромосом. Из нее развивается эндосперм семени [95]. Этот универсальный для всех покрытосеменных половой процесс получил название *двойного оплодотворения*. Он был открыт в 1898 г. С. Г. Навашиним.

Биологическое значение двойного оплодотворения у покрытосеменных растений заключается в том, что развитие эндосперма начинается только после того, как произойдет оплодотворение яйцеклетки. Триплоидный эндосперм покрытосеменных представляет собой запасной питательный материал для развивающегося зародыша. Кроме того, он включает наследственные задатки материнского и отцовского организмов.

**Партеногенез** — развитие организма из неоплодотворенного яйца. Партеногенез встречается в природе у многих видов растений и животных. Например, среди растений он известен у одуванчиков, ястребинок. Среди животных партеногенез широко распространен у коловраток, солоноватоводных рачков артемий, у ветвистоусых пресноводных рачков дафний, тлей, пчел. В составе пчелиной семьи путем партеногенеза развиваются трутни (самцы).



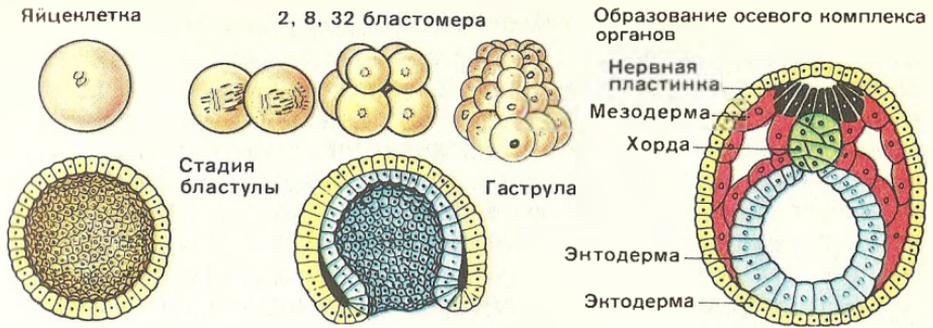
В чем сущность двойного оплодотворения цветковых растений?

## 51. Индивидуальное развитие организма — онтогенез

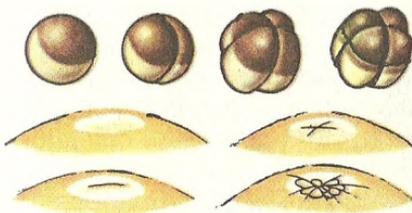
После оплодотворения начинается индивидуальное развитие животного или растения — *онтогенез*, который завершается формированием взрослого организма. Рассмотрим онтогенез организма животного.

**Развитие зародыша.** Оплодотворенная яйцеклетка — зигота — претерпевает ряд быстро следующих друг за другом митотических делений, которые называются дроблением. Дробление и другие ранние стадии развития многоклеточного зародыша, называемые периодом эмбрионального развития, рассмотрим на примере ланцетника [96].

Зигота вначале делится в продольном направлении на две

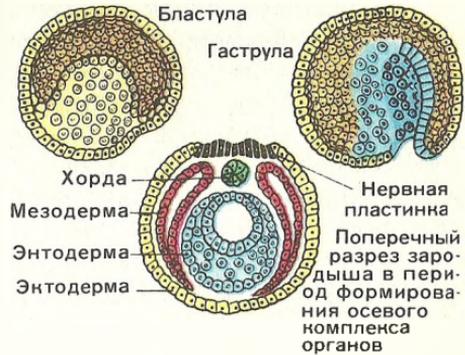


96. Ранние стадии развития ланцетника.



97. Начальные стадии дробления яйцеклеток лягушки (вверху) и птицы (внизу).

Видны последовательные стадии дробления 2, 4 и 8 бластомеров. Яйцеклетка лягушки дробится на бластомеры различной величины. В яйцеклетке птиц дробится только поверхностный участок активной цитоплазмы, в котором расположено ядро.



98. Развитие зародыша тритона.

одинаковые по величине клетки, называемые бластомерами. Затем каждый из бластомеров делится также в продольном направлении и образуются 4 клетки. Следующее, третье деление происходит в поперечном направлении, и в результате его формируются 8 одинаковых клеток. В дальнейшем чередуются быстро следующие друг за другом продольные и поперечные деления, которые приводят к образованию 16, 32, 64, 128 и больше клеток (бластомеров).

Яйцо ланцетника, имеющее небольшое количество желтка, подвергается дроблению полностью **96**. У других животных (птицы, рыбы) яйцо содержит много желтка и дроблению подвергается только диск цитоплазмы с ядром **97**, а сам желток не дробится.

При дроблении следующие друг за другом деления происходят быстро, бластомеры не растут и их размеры по мере увеличения числа клеток уменьшаются. В результате дробления образуется шарообразный зародыш с полостью внутри — *бластула*

(рис. 96). Клетки стенки бластулы располагаются в один слой. Формированием бластулы завершается период дробления и начинается следующий период развития, в течение которого продолжается деление клеток и происходит образование второго, внутреннего слоя клеток. Зародыш становится двухслойным.

У многих многоклеточных животных, к числу которых относятся и ланцетник, внутренний слой клеток образуется путем впячивания внутрь полости бластулы клеток ее стенки. Эту двухслойную стадию развития называют *гастроулой*. Наружный слой клеток гастроулы называют *эктодермой*, внутренний — *энтодермой*. Образовавшаяся путем впячивания и ограниченная энтодермой полость представляет собой полость первичного кишечника, открывающуюся наружу отверстием — *первичным ртом*. Эктодерму и энтодерму называют *зародышевыми листками*.

Дальнейшее развитие первоначально двухслойной гастроулы связано с образованием третьего зародышевого листка — *мезодермы*, обособлением хорды, формированием кишечника и развитием центральной нервной системы. Рассмотрим основные этапы этих процессов.

В конце стадии гастроулы клетки эктодермы, расположенные перед отверстием первичного рта, начинают быстро делиться и образуют нервную пластинку **96**, которая тянется по всей спинной стороне зародыша. По краю нервной пластинки возникают направленные вверх складки, а центральная часть ее опускается, образуя нервный желобок. Последний углубляется, верхние края его смыкаются, и он превращается в лежащую под эктодермой нервную трубку — зачаток центральной нервной системы. С самого начала развития нервной трубки передний конец ее расширяется. Это расширение на следующих этапах превращается в головной мозг. В передней части развивающегося головного мозга, по бокам его, образуются два бокаловидных зачатка глаза. В виде впячиваний эктодермы в передней части зародыша появляются также зачатки органов слуха и обоняния. Кроме нервной системы и связанных с ней органов чувств, эктодерма дает начало внешним покровам организма.

На спинной стороне прилежащего к нервной трубке участка, ограниченного энтодермой первичного кишечника, в форме двух карманов обособляются зачатки мезодермы **96**. Они отделяются от первичного кишечника, и полость их далее превращается в полость тела. Между правым и левым зачатками мезодермы, непосредственно под нервной трубкой, отделяется тянувшийся вдоль всего зародыша зачаток хорды **96**. Он лежит между нервной трубкой и кишечником. После отделения мезодермы и хорды остальная энтодерма дает начало кишечнику и связанным с ним органам **98**.

Во время описанных выше процессов изменяется внешний вид зародыша. Он удлиняется, обособляются головной и туловищный

отделы. Кишечник сначала имеет форму прямой трубки. Возникают ротовое и анальное отверстия. Из выростов стенки кишечной трубки развиваются желудок, печень и другие органы пищеварительной системы. В местах контакта энтодермы с эктодермой по бокам передней части тела прорываются жаберные щели. У ланцетника и рыб они функционируют в течение всей жизни, а у наземных позвоночных зарастают тканью. Легкие в своем развитии тоже связаны с передней кишкой: они развиваются из выроста кишечника.

Мезодерма составляет значительную часть массы развивающегося зародыша. Из нее формируются мускулатура, все хрящевые и костные элементы скелета, кровеносная система, выделительная система, половые органы.

Зародыш животных развивается как единый организм, в котором все клетки, ткани и органы находятся в тесном взаимодействии.

**Постэмбриональное развитие.** Постэмбриональный (послезародышевый) период начинается с момента выхода организма из яйцевых оболочек, а при внутриутробном развитии зародыша млекопитающих — с момента рождения. Различают два вида постэмбрионального развития: прямое, когда рождающийся организм сходен со взрослым, и непрямое, когда эмбриональное развитие приводит к образованию личинки, которая отличается от взрослого организма по многим признакам внешнего и внутреннего строения, по характеру питания, движения и ряду других особенностей.

Прямое развитие возникло в процессе эволюции у ряда беспозвоночных животных, например у пиявок, многоножек, пауков. Большинство позвоночных животных, к числу которых относятся пресмыкающиеся, птицы и млекопитающие, имеют прямое развитие.

К животным с непрямым развитием относятся кишечнорастворимые, плоские и кольчатые черви, ракообразные, насекомые и ряд других беспозвоночных, а из позвоночных — амфибии. Вспомните из курса зоологии непрямое развитие бабочек и травяной лягушки. У этих животных из яйца развиваются личинки, которые ведут самостоятельный образ жизни, самостоятельно питаются. Строение их более простое, чем строение взрослого организма: у них развиваются особые личиночные органы, которых нет у взрослых особей (например, у головастика лягушки — наружные жабры и хвост). Превращение личинки во взрослое животное сопровождается глубокой перестройкой внешнего и внутреннего строения.

Непрямое развитие часто дает организмам значительные преимущества. Обычно личинка представляет стадию развития, специально приспособленную для активного питания и роста (насекомые, земноводные). Как правило, личинки и взрослые особи одного вида живут в разных условиях и благодаря этому

не конкурируют друг с другом за место и пищу. У некоторых организмов личинки способствуют распространению вида. Например, у многих сидячих, малоподвижных червей и моллюсков личинки свободно плавают и занимают новые места обитания.

Все стадии индивидуального развития любого организма подвержены влиянию факторов внешней среды. К ним относятся целый ряд естественных, природных факторов, среди которых можно в первую очередь назвать температуру, свет, солевой и газовый состав среды обитания, пищевые ресурсы и др.

Есть, однако, факторы, воздействие которых на индивидуальное развитие не только нежелательно, но и вредно. Особенно следует сказать о таких воздействиях на развитие и функционирование организма человека. К числу вредных внешних факторов следует в первую очередь отнести алкогольные напитки и курение.

Употребление алкогольных напитков приносит огромный вред на любом этапе индивидуального развития человека и особенно опасно в подростковом возрасте. Алкоголь губительно действует на все системы органов человека, прежде всего на центральную нервную систему, на сердце и кровеносные сосуды, на легкие, почки, систему органов движения (мышцы). Употребление даже малых доз алкоголя нарушает мыслительную деятельность человека, ритм движений, дыхания и деятельность сердца, приводит к многочисленным ошибкам в работе, к возникновению заболеваний. Например, алкоголь разрушает печень, вызывает ее перерождение (цирроз). Систематическое употребление алкоголя приводит к возникновению тяжелого заболевания — алкоголизма, которое требует длительного специального лечения. У родителей-алкоголиков могут родиться умственноотсталые и физически неполноценные дети.

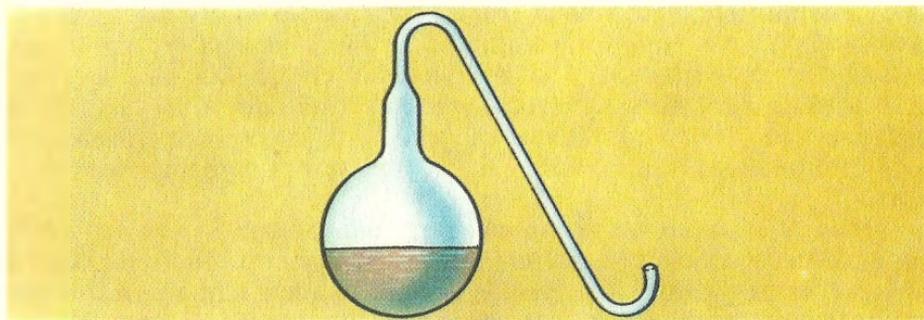


1. Чем отличается дробление от обычного деления клетки? 2. Что такое гаустула и как она образуется в процессе развития зародыша? 3. Составьте таблицу, показывающую, из каких зародышевых листков развиваются основные органы животного организма. 4. Чем отличается прямое развитие от непрямого? Приведите примеры.

## 52. Возникновение и начальное развитие жизни на Земле

**Определение понятия «жизнь».** В окружающем нас мире мы без труда одни тела относим к живым, другие — к неживым. Что же отличает живые тела от неживых? Этот вопрос с давних пор привлекал ученых и мыслителей, которые, желая дать краткое определение понятиям «жизнь», «живое тело», старались найти самое существенное, самое характерное в этих понятиях.

Известно несколько десятков различных определений жизни. Почти все они неудовлетворительны. Наиболее удачное опреде-



99. Пастеровская колба.

ление жизни в книге «Анти-Дюринг» дал Ф. Энгельс: *«Жизнь есть способ существования белковых тел, и этот способ существования состоит по своему существу в постоянном самообновлении химических составных частей этих тел»*. Определение Ф. Энгельса состоит из двух частей. В первой части он указывает на отличительную особенность живых тел — содержание в них белков. Мы знаем, что белки являются главной и постоянной составной частью всех без исключения живых систем — от самых примитивных до самых сложных и высокоорганизованных. «Повсюду, где мы встречаем жизнь, — писал Ф. Энгельс, — мы находим, что она связана с каким-либо белковым телом, и повсюду, где мы встречаем какое-либо белковое тело, не находящееся в процессе разложения, мы без исключения встречаем и явления жизни».

Белки — вещества с легко изменяемой структурой. Для живого состояния необходимо присутствие белков не в любой форме, но лишь в такой, которая сохраняет свою уникальную структуру, обладающую биологической активностью. При умирании организма или при повреждении клетки макромолекулы белков разворачиваются и переходят в денатурированное состояние. Белки, утратившие природную конфигурацию, немедленно уничтожаются и заменяются новосинтезированными белками. Белковый состав клетки в процессе жизни, таким образом, постоянно обновляется.

Во второй части своего определения Ф. Энгельс говорит о способе существования белков. Этот способ — обмен веществ, при помощи которого поддерживается природная конфигурация белков и обеспечивается непрерывное их обновление.

Определение Ф. Энгельса, прекрасное по форме и глубокое по содержанию, до сих пор пользуется широким признанием. Однако после выхода в свет «Анти-Дюринга» прошло более ста лет. За это время в разных областях естествознания сделаны крупные открытия. В связи с этим многие ученые считают целесообразным расширить и дополнить характеристику живого тела. Счи-

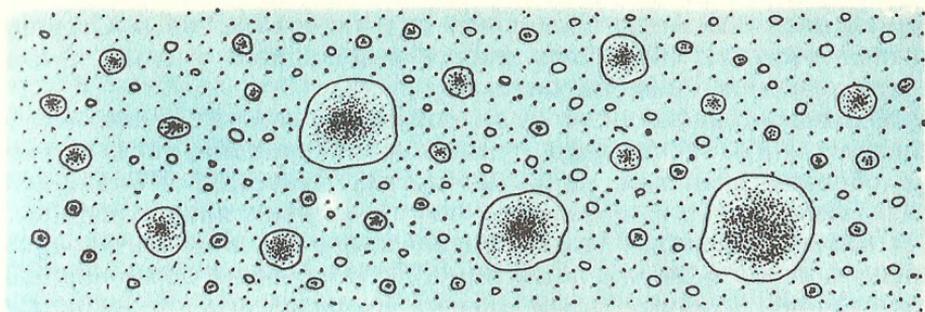
тают, например, что живые тела — открытые системы, т. е. существуют до тех пор, пока в них поступает энергия в виде пищи, а отбросы выделяются в окружающую среду. Указывают, что живые тела способны к авторегуляции, т. е. способны сохранять постоянство своего состава и свойств, что, кроме белков важной и постоянной их составной частью являются нуклеиновые кислоты.

Приведем одно из современных определений живого тела (предложено советским ученым М. В. Волькенштейном): «Живые тела, существующие на Земле, представляют собой открытые, саморегулирующиеся и самовоспроизводящиеся системы, построенные из биополимеров — белков и нуклеиновых кислот». Обратите внимание на оговорку в этом определении: «Живые тела, существующие на Земле...» Очевидно, не исключается возможность, что на других планетах могут быть обнаружены живые тела, существенно отличающиеся от земных.

**Развитие представлений о происхождении жизни.** С незапамятных времен человек задавал вопрос: откуда берутся живые существа? В античное время и в средние века уровень развития биологии был очень низким. В тот период были распространены взгляды о том, что живые организмы самопроизвольно возникают из неживого материала. Вполне серьезно ученые считали, что лягушки в прудах возникают из ила, мухи — из грязи. Видный ученый средневековья Ван Гельмонт (1575—1640) в своей книге указывал на возможность зарождения мышей из грязного белья. Другой крупный ученый той же эпохи врач Парацельс (1485—1540) опубликовал способ искусственного изготовления человека («гомункулюса»).

С развитием биологии, с усовершенствованием методов исследований позиции ученых, утверждающих возможность самопроизвольного зарождения жизни, были поколеблены. В 1661 г. итальянский врач Франческо Реди опубликовал результаты своих опытов. В каждый из восьми стеклянных сосудов он вложил свежее мясо. Четыре сосуда оставил открытыми, а четыре плотно накрыл марлей. Через несколько дней в мясе, лежащем в открытых сосудах, появились черви (личинки мух). На мясе в сосудах, обвязанных марлей, червей не было. Следовательно, они зарождаются не из самого мяса (как было принято считать), а из яиц, отложенных мухами. Это был неотразимый удар по представлению о самопроизвольном зарождении. Взгляды о самопроизвольном зарождении, однако, держались еще долго, особенно в области микробиологии.

Исключительный интерес к проблемам самозарождения жизни побудил Парижскую Академию наук в 1860 г. назначить премию за ее решение. Премия была присуждена выдающемуся французскому ученому-химику и бактериологу Луи Пастеру (1822—1895). Пастер поместил бульон в колбу с длинным узким горлышком S-образной формы 99. Воздух в колбу про-



100. Коацерватные капли.

ходил свободно, но микробы проникнуть в нее не могли, так как они оседали в S-образном колене горлышка. Затем Пастер прокипятил бульон, чтобы убить находящихся там микробов. Проходили месяцы, а содержимое колбы оставалось стерильным. Стоило, однако, колбу повернуть так, чтобы содержащийся в ней бульон обмыл S-образное колено горлышка и стек обратно в колбу, в ней вскоре начиналось гниение. Это происходило потому, что в бульон попадали микробы, находившиеся в S-образной части горлышка. Таким образом, невозможность самопроизвольного зарождения микроорганизмов была убедительно доказана.

Работы Пастера получили широкую известность и всеобщее признание. Во многом этому способствовало их огромное практическое значение. На их основе были разработаны методы стерилизации в области хирургии, а также консервной промышленности.

Любой организм, от самого примитивного до высокоорганизованного, рождается от живых организмов. Этот закон был сформулирован в виде краткого афоризма: «Все живое из живого». Другими словами, зарождение живого из неживого невозможно принципиально, т. е. никогда и ни при каких условиях. Но встал вопрос: каким же образом первоначально возникла жизнь на Земле?

**Современные теории происхождения жизни.** По данным космологии (наука о происхождении небесных тел), все планеты, и Земля в том числе, были когда-то раскаленными телами. Очевидно, в то время на Земле не могло быть жизни, так как одним из условий существования жизни является температура окружающей среды не выше  $+50 \dots +70^{\circ}\text{C}$ . Каким же образом на абсолютно стерильной Земле возникла жизнь, появились организмы, способные к размножению и развитию?

Для того чтобы объяснить, каким образом возникла жизнь на Земле, была предложена гипотеза вечности жизни. Сущность ее состоит в том, что зародыши жизни (споры растений, микроорганизмы) будто бы рассеяны в космическом пространстве и

переносятся с планеты на планету под давлением света. Сторонниками этого взгляда были многие выдающиеся ученые, в том числе академик В. И. Вернадский.

Однако если бы даже было доказано, что на Землю могут попадать живые организмы с пылью и метеоритами, тогда каким же образом возникла жизнь на других планетах? По данным космологии, истории возникновения и развития планет, сходны. Все планеты проходят стадию раскаленных тел, и существование жизни в таких условиях немыслимо. Поэтому более обоснованной представляется другая точка зрения, согласно которой жизнь на Земле первоначально возникла на одном из этапов ее длительной эволюции из неорганической материи. Эта гипотеза была выдвинута в 1924 г. советским ученым, академиком А. И. Опариним. Она привлекла всеобщее внимание и завоевала многочисленных сторонников. А. И. Опарин и ученые, разделяющие его точку зрения, основываются на том, что весь окружающий нас мир находится, как выражаются философы, в движении, т. е. постоянно изменяется. Все имеет историю, в том числе и клетка. Ей предшествовало создание более простых образований. Скорее всего вначале возникли вещества, из которых состоит клетка, — белки, нуклеиновые кислоты, АТФ и др. Эти вещества сложные, они могли возникнуть также в результате длительной эволюции. Иначе говоря, биологической эволюции предшествовала химическая эволюция. Но как это происходило и под влиянием каких факторов?

Земля вначале была холодная, но в дальнейшем благодаря распаду содержащихся в ней радиоактивных элементов она стала разогреваться (в недрах температура достигала  $1000^{\circ}\text{C}$  и выше). Вещества Земли на этой стадии ее развития вступали между собой в химические реакции. Среди продуктов реакций было много газов. Под громадным давлением они вырывались на поверхность Земли, благодаря чему образовалась ее первичная атмосфера. В ее составе, вероятно, содержалось много водяного пара — оксида углерода (IV)  $\text{CO}_2$ , оксида углерода (II)  $\text{CO}$ , сероводорода  $\text{H}_2\text{S}$ , аммиака  $\text{NH}_3$ , метана  $\text{CH}_4$  и др. Молекулярного кислорода почти не было: этот активный элемент окисляет различные вещества и не достигает поверхности Земли. Обращают на себя внимание содержащиеся в первичной атмосфере Земли соединения углерода — основного элемента органических веществ.

После того как температура на поверхности Земли стала ниже  $100^{\circ}\text{C}$ , начался период дождей, вследствие чего образовались моря и океаны. В горячей дождевой воде растворялись аммиак, углекислый газ, метан, а также соли и другие вещества, вымываемые из поверхностных слоев Земли. Благодаря отсутствию в первичной атмосфере кислорода и озона, обладающих способностью поглощать ультрафиолетовые лучи и ионизирующие излучения, эти богатые энергией виды излучений воздейст-

новали на поверхность Земли с большой интенсивностью. Грозы были часты, необычны по силе. Под влиянием ультрафиолетовых лучей, проникающего излучения и электрических разрядов между веществами, растворенными в первобытном океане, должны были происходить химические реакции, в результате которых могли образовываться химические соединения.

*Первым шагом на пути возникновения жизни на Земле стал небиологический (абиогенный) синтез органических молекул из неорганических.* Американский ученый С. Миллер и советские ученые А. Г. Пасынский и Т. Е. Павловская экспериментально доказали образование сложных органических соединений из неорганических веществ, которые могли находиться в водах первобытного океана, под влиянием электрических разрядов и ультрафиолетового излучения. Американские химики С. Фокс и К. Дозе показали, что в условиях, существовавших на первобытной Земле, мог происходить абиогенный синтез даже таких веществ, как белки. Органические вещества накапливались в воде первобытного океана. Они находились там вначале в виде очень разбавленного раствора.

*Вторым шагом на пути возникновения жизни на Земле был процесс концентрирования органических веществ.* По предположению академика А. И. Опарина, он происходил в силу присущей всем высокомолекулярным веществам способности самопроизвольно концентрироваться и образовывать так называемые *коацерваты*. Явление коацервации состоит в том, что при некоторых условиях (например, в присутствии электролитов) высокомолекулярные вещества отделяются от раствора, но не в форме осадка, а в виде более концентрированного раствора, который называется коацерватом. При встряхивании коацервата он разбивается на мелкие капельки.

Исследования А. И. Опарина показали, что капельки коацервата способны поглощать из окружающего раствора различные вещества. Это напоминает процесс питания. В результате поглощения веществ капельки коацервата увеличиваются в размерах. Внешне это сходно с процессом роста. Можно подобрать такие условия опыта, при которых вещества, поглощенные коацерватом, будут вступать между собой в реакцию, а продукты этой реакции выделяться из коацервата в окружающую среду. Это похоже на процесс выделения из клетки продуктов обмена веществ. По мнению А. И. Опарина, между капельками коацервата происходит даже нечто напоминающее борьбу за существование, в результате которой в целости остаются капельки более устойчивые, более приспособленные к окружающей среде.

Однако в коацерватах еще отсутствует главный признак живого организма — способность к самовоспроизведению молекул, входящих в их состав.

*Важнейшей ступенью к жизни явилось возникновение молекул, способных к самовоспроизведению.* Это, вероятно, были

простейшие полинуклеотиды. Сборка на молекуле такой же по составу и структуре другой молекулы означала возникновение нового принципа химического синтеза — матричного синтеза, столь характерного для живых систем.

В процессе самовоспроизведения полинуклеотидных молекул в некоторых случаях возникали «ошибки», т. е. новая молекула полинуклеотида не вполне точно копировала исходную. В дальнейшем происходило копирование уже этой новой, измененной молекулы; таким образом возникали мутации. Частота их резко повышалась при воздействии излучений, особенно ионизирующих.

Первобытные организмы по способу питания были настоящими гетеротрофами, так как они использовали уже готовые органические вещества. По мере размножения организмов запасы органических веществ в первичном океане иссякали, а синтез новых не поспевал за потребностью. Началась борьба за пищу, в которой выживали более активные. Случайно приобретенные в результате наследственных изменений полезные в данных условиях признаки закреплялись отбором. По-видимому, именно так в процессе исторического развития произошло превращение первичных организмов в современную клетку: образовалась защитная оболочка вокруг нуклеиновой кислоты у вирусов или возник слой цитоплазмы вокруг ядра, образовалась наружная мембрана у клеток и т. д.

Крупным шагом на пути эволюции жизни было возникновение автотрофного питания. В условиях все уменьшающихся запасов органических соединений у некоторых организмов возникла способность к самостоятельному синтезу органических веществ из простых неорганических веществ окружающей среды. Энергию, необходимую для такого синтеза, некоторые организмы стали освобождать путем простейших химических реакций окисления и восстановления. Так возник хемосинтез.

Особенно крупным прогрессивным изменением типа ароморфоза было возникновение фотосинтеза, которое оказало громадное влияние на дальнейшую эволюцию жизни. В период возникновения жизни как в атмосфере, так и в океане не осталось свободного кислорода: этот активный элемент был связан другими элементами и находился в составе различных неорганических веществ. Поэтому первоначально организмы получали энергию путем бескислородных реакций органических веществ. Этот путь получения энергии малоэффективен и требует большого количества пищи. С развитием фотосинтеза и появлением в атмосфере и воде свободного кислорода возник новый путь освобождения энергии — кислородный путь расщепления, который примерно в 20 раз эффективнее бескислородного (с. 167).

Земля в период возникновения на ней жизни подвергалась интенсивному воздействию излучения Солнца, которое было губительно для всего живого. Поэтому жизнь первоначально была возможна только в океане. По мере развития растений происхо-

дило накопление кислорода в атмосфере, часть его превращалась в озон, обладающий способностью интенсивно поглощать ультрафиолетовое и ионизирующее излучение. В результате стала возможна жизнь на суше. Жизнь «вышла» из воды и распространилась по всей поверхности Земли.

Часто спрашивают: «Возможно ли возникновение жизни на Земле небиологическим путем в наше время?» По-видимому, невозможно, так как, если бы где-нибудь произошло образование органических веществ, они немедленно были бы поглощены гетеротрофными организмами. В наше время живые тела возникают только биологическим путем, т. е. в процессе размножения подобных себе существ.

1. Охарактеризуйте основные этапы зарождения жизни на Земле по представлениям академика А. И. Опарина. 2. Какое значение для развития жизни на Земле имело возникновение фотосинтеза?



нормальный лист



некротический лист



Ne pe

простое соцветие



сложное соцветие



S 30 s

незаостренный плод



заостренный плод



Bk m

опушенный эпидермис

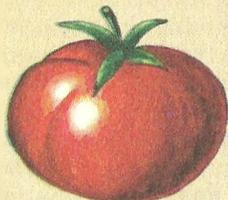


нормальный эпидермис



Wo 45 wo

нормальный плод

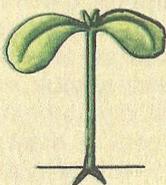


продолговатый плод

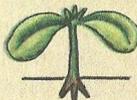


O 55 o

высокий всход



нарлиновый всход



D 70 d

нормальный лист



пятнистый лист



M m



### 53. Гибридологический метод изучения наследственности. Первый закон Менделя

Генетика — наука о наследственности и изменчивости организмов. Развитие генетики — характерная черта биологии XX в. Генетика изучает законы наследственности и изменчивости, лежащие в основе эволюции органического мира и деятельности человека по созданию новых сортов культурных растений и пород домашних животных, как это установил еще Ч. Дарвин.

Вспомните, как Дарвин определял наследственность. *Наследственность — это свойство организма передавать свои признаки и особенности развития следующим поколениям.* Благодаря наследственности все особи в пределах вида сходны между собой. Наследственность позволяет животным, растениям и микроорганизмам сохранять из поколения в поколение характерные черты вида, породы, сорта.

Наследование признаков осуществляется через размножение. При половом размножении новые поколения возникают в результате оплодотворения. Материальные основы наследственности заключены в половых клетках. При бесполом или вегетативном размножении новое поколение развивается или из одноклеточных спор, или из многоклеточных образований. И при этих формах размножения связь между поколениями осуществляется через клетки, в которых заключены материальные основы наследственности.

Вспомните, как Дарвин определял изменчивость. *Изменчивость — свойство организмов приобретать новые признаки в процессе индивидуального развития.* Благодаря изменчивости особи в пределах вида различаются между собой.

Следовательно, наследственность и изменчивость — два противоположных, но взаимосвязанных свойства организма. Благодаря наследственности сохраняется однородность вида, а изменчивость, наоборот, делает вид неоднородным.

Различия между особями одного вида могут зависеть от изменения материальных основ наследственности организма. Изменчивость определяется и внешними условиями. Каждому известно,

Выросший на  
равнине



Выросший в горах



### 101. Изменчивость одуванчика, выращенного из одного корня.

что проявление свойств породы во многом зависит от условий содержания и кормления.

На рисунке 101 показан результат опыта, проведенного над одуванчиком. Корень одуванчика разрезали пополам. Одну половину его высадили на равнине в условиях высокой влажности. Выросло растение с крупными листьями, длинными цветоносами. Другую половину посадили в горах. Выросло маленькое растение с мелкими листьями, с очень коротким цветоносом. А между тем наследственность у них одинаковая.

Совокупность генов, которую организм получает от родителей, составляет его *генотип*. Совокупность внешних и внутренних признаков — это *фенотип*.

Из приведенного примера становится ясно, что фенотип развивается в результате взаимодействия генотипа и условий внешней среды.

**Гибридологический метод изучения наследственности.** Основные закономерности передачи признаков в ряду поколений при половом размножении были впервые установлены чешским ученым Грегором Менделем и опубликованы в 1865 г. Его исследования долгое время не были правильно оценены. Лишь в 1900 г. они были как бы переоткрыты и подтверждены несколькими учеными и стали основой вновь возникшей отрасли биологии — генетики.

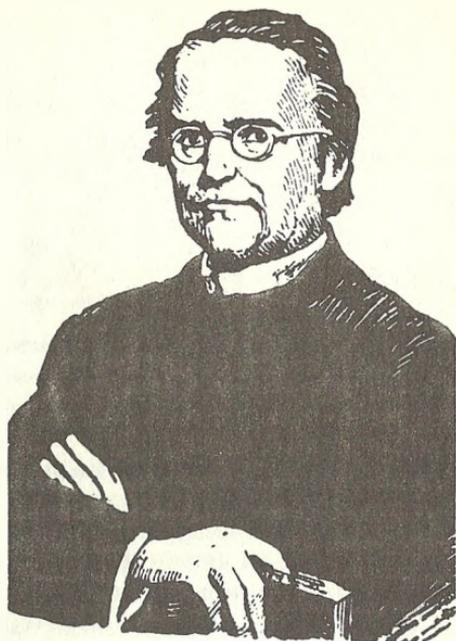
Мендель проводил опыты на горохе. У этого растения много разных сортов, отличающихся друг от друга хорошо выраженными наследственными признаками. Имеются, например, сорта с белыми и пурпурными цветками, с высоким и низким стеблем, с желтыми и зелеными семенами, с гладкими и морщинистыми семенами и т. п. Каждая из указанных особенностей наследуется в пределах данного сорта. У гороха обычно происходит самоопыление, хотя возможно и перекрестное опыление.

Мендель применил гибридологический метод исследования — скрещивание различающихся по определенным признакам родительских форм — и проследил проявление изучаемых признаков в ряду поколений. Мендель шел аналитическим путем: из большого многообразия признаков растений он вычленил одну или несколько пар противоположных друг другу признаков

и прослеживал проявление их в ряду следующих друг за другом поколений. Характерной чертой опытов Менделя был точный количественный учет проявления изучаемых признаков у всех особей. Это позволило ему установить определенные количественные закономерности в наследственности. Анализ закономерностей наследственности Мендель начал с *моногибридного скрещивания* — скрещивания родительских форм, наследственно различающихся лишь по одной паре признаков.

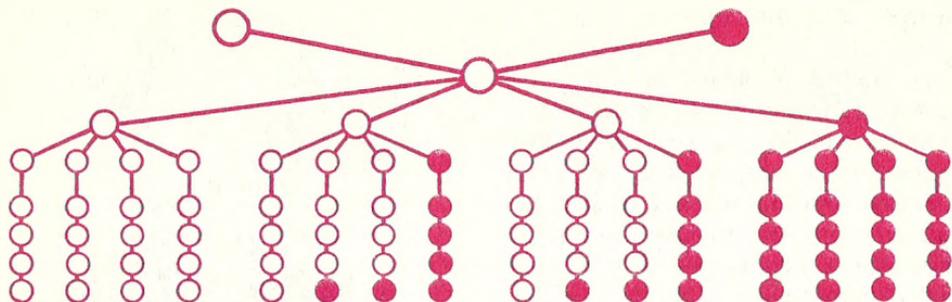
**Единообразия первого поколения гибридов\*** Если скрестить растения гороха с желтыми и зелеными семенами, то у всех полученных в результате этого скрещивания растений первого поколения гибридов семена будут желтыми. Противоположный признак (зеленые семена) как бы исчезает. В этом проявляется установленное Менделем правило единообразия первого поколения гибридов. Признак желтой окраски семян как бы подавляет проявление противоположного признака (зеленая окраска) и все семена у гибридов  $F_1$  оказываются желтыми (единообразными). Явление преобладания признака получило название *доминирования*, а преобладающий признак называют *доминантным*. В рассматриваемом примере желтая окраска семян доминирует над зеленой. Противоположный, внешне исчезающий признак (зеленая окраска) называют *рецессивным*.

**Первый закон Менделя.** В потомстве от первого поколения гибридов (во втором поколении —  $F_2$ ) наблюдается расщепление: появляются растения с признаками обоих родителей в определенных численных соотношениях. Желтых семян оказывается примерно в три раза больше, чем зеленых. Соотношение семян гороха с доминантными и рецессивными признаками близко к отношению 3:1. В опыте Менделя были получены следующие количественные отношения: желтых — 6022, зеленых — 2001. Аналогичные



Г. Мендель.

\* Гибриды — организмы, получающиеся в результате скрещивания особей, различающихся наследственными зачатками. Условно принято обозначать родительское поколение латинской буквой Р (лат. parentale — родительский), первое поколение гибридов —  $F_1$ , второе  $F_2$  (лат. filiale — дочерний) и т. д.



### 102. Ход моногибридного скрещивания.

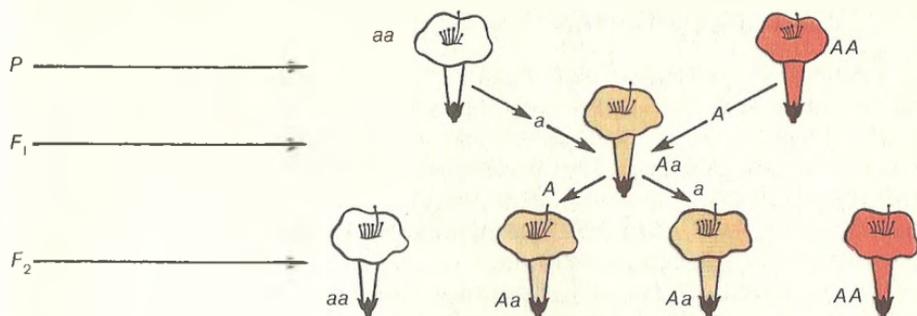
Светлые кружки — организмы с доминантным признаком, темные — с рецессивным признаком.

результаты дали опыты по изучению других пар признаков. Оказалось, пурпурная окраска венчика цветка доминирует над белой и во втором поколении гибридов дает то же расщепление 3:1; гладкая форма семян доминирует над морщинистой. Рecessивный признак в первом поколении гибридов не выявляется. В этом проявляется первый закон Менделя, получивший название закона расщепления: *гибриды первого поколения  $F_1$  при дальнейшем размножении расщепляются; в их потомстве  $F_2$  снова появляются особи с рецессивными признаками, составляющие примерно четвертую часть от всего числа потомков.*

Как будут проявляться признаки в третьем, четвертом и последующих поколениях гибридов? Для решения этого вопроса Мендель путем самоопыления получил потомство третьего и последующих поколений.

На рисунке **102** видно, что растения, обладавшие рецессивным признаком, далее в любом числе поколений не обнаруживали расщепления. В их потомстве никогда не появлялось растений с доминантным признаком. Иначе себя вели гибриды второго поколения, обладавшие доминантным признаком. Среди них при анализе потомства, полученного путем самоопыления, обнаружили две группы. Первая, составляющая  $\frac{1}{3}$  от общего числа растений с доминантным признаком, далее не расщепляется. В их потомстве, в последующих поколениях, обнаруживается только доминантный признак. Иначе ведут себя другие растения второго поколения, составляющие  $\frac{2}{3}$  от общего числа растений с доминантным признаком. В их потомстве проявляется расщепление в том же соотношении 3:1 ( $\frac{3}{4}$  доминантных,  $\frac{1}{4}$  рецессивных), как и у гибридов второго поколения. Изучение последующих поколений дает сходный результат. Потомки растений с рецессивным признаком не расщепляются.

У всех растительных и животных организмов при половом размножении происходит расщепление в потомстве гибридов. Особи, сходные по внешним признакам, могут обладать различными наследственными свойствами. Например, среди растений гороха



### 103. Моногибридное скрещивание ночной красавицы.

с желтыми семенами во втором поколении гибридов одни особи при самоопылении обнаруживают в потомстве расщепление, другие же не расщепляются. Такие особи, которые не обнаруживают в потомстве расщепления и сохраняют свои признаки в «чистом» виде, называют *гомозиготными* по данному признаку (лат. «го-мо» — равные, одинаковые). Особей, которые в потомстве обнаруживают явление расщепления (т. е. являются по наследственному зачаткам гибридными), называют *гетерозиготными* по данному признаку (лат. «гетеро» — разный).

**Промежуточный характер наследования.** В рассмотренных выше примерах правило единообразия первого поколения гибридов выражалось в том, что все гибриды внешне были похожи на одного из родителей, т. е. проявлялось доминирование. Это наблюдается не всегда. Часто признаки у гетерозиготных форм носят промежуточный характер, т. е. доминирование может быть неполным. На рисунке 103 представлены результаты скрещивания двух наследственных форм растения ночная красавица. Одна из них обладает красными цветками, другая — белыми. Все гибриды первого поколения имеют розовые цветки, т. е. они носят промежуточный характер.

При скрещивании гибридов между собой во втором поколении происходит расщепление в отношении: один красный, два розовых и один белый (1:2:1). Очевидно, в этом случае гетерозиготные (гибридные) растения внешне отличаются от гомозиготных (красных и белых).



1. Что изучает генетика?
2. Дайте определение наследственности и изменчивости.
3. Охарактеризуйте гибридологический метод исследования и моногибридное скрещивание.
4. Какое правило и закономерности сформулировал Мендель на основе моногибридного скрещивания?
5. Что такое доминантный признак и рецессивный признак, гомозигота и гетерозигота, генотип и фенотип?



## 54. Цитологические основы закономерностей наследования

**Гипотеза чистоты гамет.** Статистический характер закона расщепления. В чем причина расщепления? Почему при гибридизации не возникает стойких гибридов, а наблюдается расщепление в строго определенных численных соотношениях? Для объяснения явления расщепления Мендель предложил гипотезу чистоты гамет, которая в дальнейшем получила полное подтверждение в цитологических исследованиях.

Связь между поколениями при половом размножении осуществляется через половые клетки (гаметы). Очевидно, гаметы несут материальные наследственные факторы — *гены*, которые определяют развитие того или иного признака. Обозначим ген, определяющий доминантный признак, какой-либо заглавной буквой алфавита (например,  $A$ ), а соответствующий ему рецессивный ген — малой буквой (соответственно  $a$ ). Обозначим соединение гамет, несущих гены  $A$  и  $a$ , знаком умножения:  $A \times a = Aa$ . Как видно, возникающая в результате гетерозиготная форма ( $F_1$ ) имеет оба гена, как доминантный, так и рецессивный —  $Aa$ . Гипотеза чистоты гамет утверждает, что у гибридной (гетерозиготной) особи половые клетки чисты, т. е. имеют по одному гену из данной пары. Это означает, что у гибрида  $Aa$  будут в равном числе возникать гаметы с геном  $A$  (доминантный ген) и с геном  $a$  (рецессивный ген). Какие же между ними возможны сочетания? Очевидно, равновероятны четыре комбинации, поясняемые следующей схемой (значок  $\sigma$  означает мужские гаметы, а значок  $\varphi$  — женские).

$\varphi \backslash \sigma$	$A$	$a$
$A$	$AA$	$Aa$
$a$	$aA$	$aa$

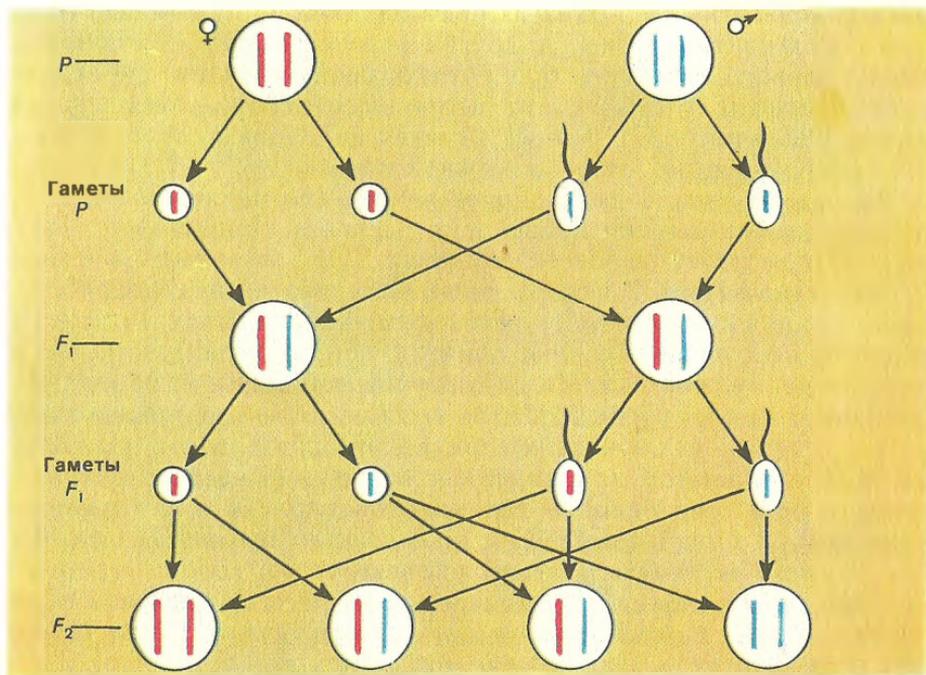
В результате четырех комбинаций получатся сочетания  $AA$ ,  $Aa$ ,  $aA$  и  $aa$ , иначе,  $AA$ ,  $2Aa$  и  $aa$ . Первые три сочетания дадут особей с доминантным признаком, четвертое — с рецессивным. Гипотеза чистоты гамет удовлетворительно объясняет причину расщепления и наблюдаемые при этом численные соотношения. Вместе с тем становятся ясны и причины различия в отношении дальнейшего расщепления особей с доминантными признаками в третьем и последующих поколениях гибридов. Особи с доминантными признаками по своей наследственной природе неоднородны. Одна из трех ( $AA$ ), очевидно, будет давать гаметы только одного сорта ( $A$ ) и, следовательно, при самоопылении или скрещивании с себе подобными не будет расщепляться. Две другие ( $Aa$ ) дадут гаметы двух сортов, в их потомстве будет происходить расщепление в тех же численных соотношениях, что и у гибридов

второго поколения. Когда полного доминирования не наблюдается и гибриды носят промежуточный характер, особи наследственного состава  $Aa$  отличаются от гомозиготных форм не только по наследственной структуре, но и по видимым признакам **103**.

Исходя из гипотезы чистоты гамет, мы можем углубить понятия гомозиготы и гетерозиготы. Гомозиготами по данной паре признаков называются такие особи, которые образуют лишь один сорт гамет, и поэтому при самоопылении или скрещивании с себе подобными в потомстве не дают расщепления. Гетерозиготы дают разные гаметы (несущие разные гены данной пары), и поэтому в их потомстве наблюдается расщепление.

Гипотеза чистоты гамет устанавливает, что закон расщепления есть результат случайного сочетания гамет, несущих разные гены. Соединится ли гамета, несущая ген  $A$ , с другой гаметой, несущей ген  $A$  или же  $a$ , при условии равной жизнеспособности гамет и равного их количества, одинаково вероятно.

При случайном характере соединения гамет общий результат оказывается закономерным. Здесь видна статистическая закономерность, определяемая большим числом равновероятных встреч гамет. К числу статистических закономерностей, определяемых



#### 104. Цитологические основы моногибридного расщепления.

Хромосомы, несущие ген доминантного признака, красные, рецессивного — синие.

равной вероятностью встречи разных гамет, относится рассмотренный ранее закон расщепления (первый закон Менделя). Из сказанного становится понятно, что при моногибридном скрещивании отношение 3:1 (в случае полного доминирования) или 1:2:1 (при неполном доминировании) следует рассматривать как закономерность, основанную на статистических явлениях.

**Цитологические основы закономерностей наследования.** В то время, когда Мендель сформулировал гипотезу чистоты гамет, еще ничего не было известно о митозе, о развитии гамет, о мейозе. В настоящее время благодаря успехам цитологии законы Менделя получили твердую цитологическую базу.

Каждый вид растений и животных обладает определенным числом хромосом (с. 184). В соматических клетках все хромосомы парные (за исключением половых).

Допустим для простоты, что у изучаемого нами организма имеется всего одна пара хромосом **104**, а гены — это участки хромосом. Парные гены расположены в гомологичных хромосомах. Легко понять, что при мейозе из каждой пары гомологичных хромосом в гаметах окажется по одной, а следовательно, и по одному гену из каждой пары. При образовании диплоидного набора хромосом в зиготе восстановится парность хромосом и локализованных в них генов. Если исходные родительские формы были гомозиготными и одна из них обладала хромосомами, несущими доминантные гены, а другая — рецессивные, то, понятно, гибрид первого поколения будет гетерозиготным. При созревании половых клеток у гетерозигот в процессе мейоза гомологичные хромосомы окажутся в разных гаметах и, следовательно, в гаметах будет по одному гену из каждой пары.

Как вы знаете, в дальнейшем в процессе развития организма при делении клетки происходит удвоение хромосом (с. 181). Ему предшествует удвоение молекул ДНК, а значит, и генов.

**Аллельные гены.** Рассмотренный материал о закономерностях наследования при моногибридном скрещивании позволяет сформулировать некоторые основные понятия, необходимые для дальнейшего изучения генетики. На примере наследования у гороха, ночной красавицы и других объектов видно, что гены, определяющие развитие взаимоисключающих признаков, составляют пары. Таковыми парами являются, например, ген желтой и ген зеленой окраски семян гороха, ген белой и ген красной окраски цветка ночной красавицы, и т. п. *Парные гены называют аллельными.* Следовательно, гены желтой и зеленой окраски семян гороха — это аллельные гены (аллели). Аллельные гены располагаются в гомологичных, т. е. парных, хромосомах, вследствие чего при мейозе они оказываются в разных гаметах.



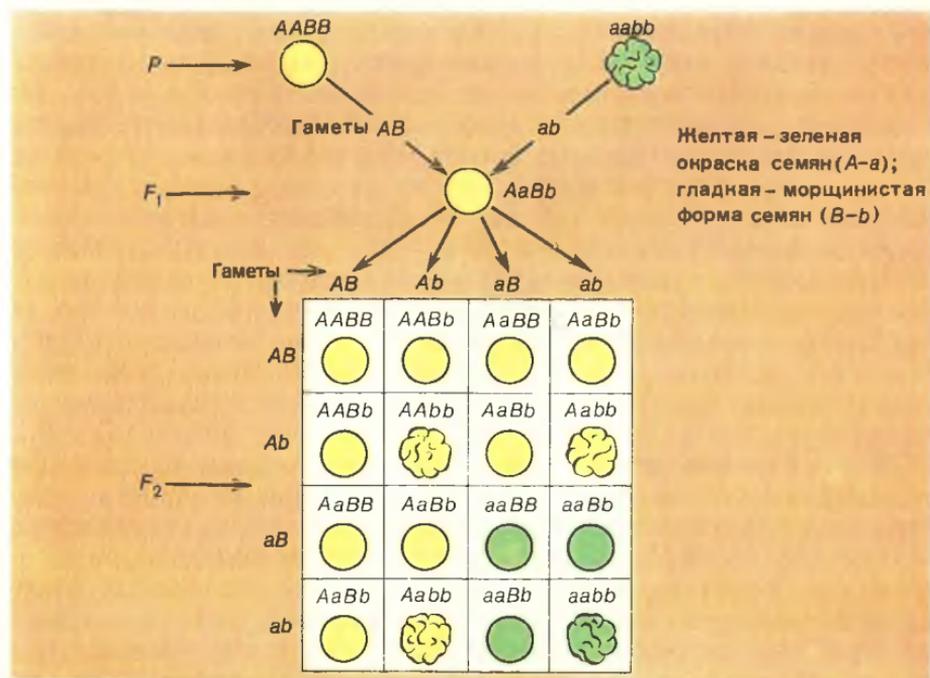
1. Каковы цитологические основы единообразия признаков первого поколения гибридов? 2. Каковы цитологические основы расщепления признаков во втором поколении? 3. У крупного рогатого скота ген безрогости (комолости) доминирует над геном рогатости. Какого результата можно ожидать от

скрещивания гетерозиготного быка с гетерозиготными комолыми коровами? С гомозиготными комолыми коровами? Может ли от рогатых коровы и быка родиться комолый теленок? 4. В чем заключается цитологическая основа чистоты гамет? 5. Какие гены называют аллельными? 6. Объясните понятия «гомозигота» и «гетерозигота».

## 55. Дигибридное скрещивание. Второй закон Менделя

Моногибридное скрещивание легко может быть проведено в опыте. Однако в природных условиях скрещивание обычно происходит между особями, различающимися по многим признакам. Каковы же в этих более сложных случаях закономерности наследования? Чтобы ответить на этот вопрос, рассмотрим *дигибридное скрещивание*, т. е. скрещивание родительских форм, различающихся по двум парам признаков. В качестве примера обратимся вновь к разным горохам, изученным Менделем. Результаты опыта показаны на рисунке 105.

Исходными формами для скрещивания взяты, с одной стороны, горох с желтыми и гладкими семенами, с другой — горох с зелеными и морщинистыми. При таком скрещивании мы имеем дело с разными парами аллельных генов. Одна такая пара включает гены окраски семян; вторая — гены формы семян.



105. Дигибридное скрещивание гороха.

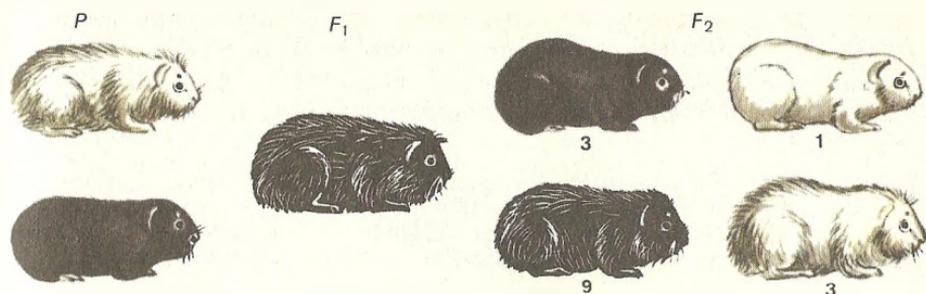
Исходные родительские формы различаются по двум парам аллелей.

Если для скрещивания взяты гомозиготные формы, то все потомство в первом поколении гибридов будет обладать желтыми гладкими семенами — проявится правило единообразия. Следовательно, в первой паре генов доминантной окажется желтая окраска, рецессивной — зеленая ( $A—a$ ). Во второй паре генов (обозначим их  $B—b$ ) гладкая форма семян доминирует над морщинистой. При самоопылении или скрещивании между собой гибридов первого поколения в их потомстве произойдет расщепление. По фенотипу получатся четыре группы особей в различных численных отношениях: на 9 особей с желтыми гладкими семенами ( $AB$ ) будут приходиться 3 с желтыми морщинистыми ( $Ab$ ), 3 с зелеными гладкими ( $aB$ ) и 1 с зелеными морщинистыми ( $ab$ ). В кратком виде это расщепление можно представить формулой:

$$9AB : 3Ab : 3aB : 1ab$$

Рассмотрим более подробно ход скрещивания и расщепления **105**. Пользуясь принятыми символами, генотипы исходных гомозиготных родительских форм следует обозначить как  $AABB$  и  $aabb$ . Вы знаете, что образующиеся в процессе мейоза половые клетки несут по одному гену от каждой пары аллелей, т. е. у одной родительской формы будут гаметы  $AB$ , а у второй —  $ab$ . В результате оплодотворения получится гибрид с генотипом  $AaBb$ . Этот гибрид гетерозиготен по двум парам аллелей, но так как у него присутствуют гены  $A$  и  $B$ , то по фенотипу он сходен с одним из родителей. Результаты расщепления во втором поколении можно предсказать, если знать, какие гаметы получаются у гетерозиготных по двум признакам гибридов первого поколения. Так как в гамете из каждой пары аллелей может присутствовать только один ген (гипотеза чистоты гамет), то, очевидно, у гетерозигот по двум признакам должны быть четыре сорта гамет, а именно:  $AB$ ,  $Ab$ ,  $aB$ ,  $ab$ . Встреча между любыми двумя из этих гамет, принадлежащих различным родителям, одинаково вероятна. Из четырех по два может быть 16 различных комбинаций. Все они представлены на таблице, где выписаны также все 16 образующихся при этом генотипов. Во всех 16 квадратах нарисованы фенотипы соответствующих особей. Легко подсчитать окончательный результат расщепления  $F_2$ , который приведен выше.

Когда скрещиваются организмы, различающиеся по двум или нескольким доминантным признакам, число возникающих во втором поколении гибридов  $F_2$  различных генотипов значительно больше, чем число разных фенотипов. Как было показано, расщепление при дигибридном скрещивании дает четыре разных фенотипа. Большинство их складывается из нескольких генотипов. Среди растений гороха, обладающих желтыми гладкими семенами, как бы скрываются четыре разных генотипа, а именно: гомозиготы ( $AABB$ ), гетерозиготы по признаку окраски семян ( $AaBB$ ), гетерозиготы по признаку формы семян ( $AABb$ ) и, наконец, гете-



### 106. Дигибридное скрещивание морских свинок.

Скрещивание и ход расщепления (9:3:3:1) двух пород морских свинок, различающихся по двум парам аллелей — окраске и характеру шерсти.

розиготы по обоим парам аллелей ( $AaBb$ ). Таким образом, этот фенотип включает четыре разных генотипа. Растения с желтыми морщинистыми семенами представлены двумя генотипами — гомозиготами  $AAbb$  и гетерозиготами  $Aabb$ . Два генотипа включают фенотип с зелеными гладкими семенами, а именно:  $aaBB$  и  $aaBb$ . Рецессивные формы с морщинистыми зелеными семенами всегда гомозиготны и представлены одним генотипом  $aabb$ . Таким образом, число различных генотипов во втором поколении гибридов  $F_2$  оказывается равным девяти.

Рассмотренные количественные отношения между числом различных фенотипов и генотипов в  $F_2$  при дигибридном скрещивании справедливы для аллелей с полным доминированием. При промежуточном характере наследования число фенотипически различных форм будет больше. Если по обоим признакам доминирование неполное, то количество фенотипически различных групп равняется числу генотипически различных групп.

Дигибридное скрещивание можно рассмотреть и на примере животных. На рисунке 106 изображено дигибридное скрещивание двух пород морских свинок — черных гладких с белыми мохнатыми. В данном случае черная окраска доминирует над белой, мохнатая шерсть — над гладкой. Из рисунка без дальнейших пояснений ясен ход расщепления (9:3:3:1).

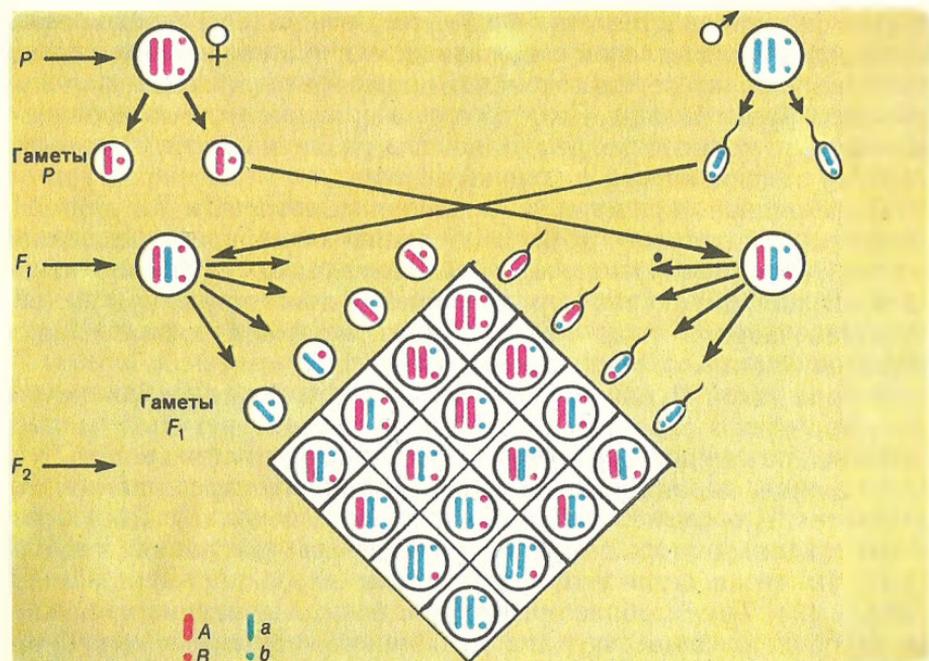
**Второй закон Менделя.** Сопоставим результаты дигибридного и моногибридного скрещиваний. Если учитывать результаты расщеплений по каждой паре генов в отдельности, то легко видеть, что соотношение, характерное для моногибридного скрещивания, сохраняется. При дигибридном расщеплении у гороха (с. 211) отношение числа желтых семян ( $A$ ) к зеленым ( $a$ ) равняется 12:4 (3:1). То же касается и отношения гладких семян ( $B$ ) к морщинистым ( $b$ ). Таким образом, дигибридное расщепление представляет собой по существу два независимо идущих моногибридных, которые как бы накладываются друг на друга. Это может быть выражено алгебраически как квадрат двучлена  $(3+1)^2 = 3^2 + 2 \cdot 3 + 1^2$ , или, что то же самое,  $9 + 3 + 3 + 1$ . Мы по-

дошли, таким образом, к формулировке второго очень важного закона, установленного Менделем, который называют *законом независимого распределения генов*. Он гласит: *расщепление по каждой паре признаков идет независимо от других пар признаков*.

- ❓ 1. Какие правила и закономерности проявляются при дигибридном скрещивании? 2. Как формулируется второй закон Менделя? 3. Запишите схему дигибридного скрещивания, выпишите из нее все генотипы, которые появляются во втором поколении.

## 56. Цитологические основы дигибридного скрещивания

Как связать закономерности дигибридного скрещивания с теми процессами, которые совершаются в половых клетках при их созревании и оплодотворении? Эти отношения поясняются на схеме 107. Диплоидный набор хромосом представлен здесь двумя гомологичными парами. В парных хромосомах расположены аллельные гены. В палочковидных хромосомах — гены  $A$  и  $a$ , в сферических хромосомах — гены  $B$  и  $b$ . В результате мейоза из каждой гомологичной пары хромосом в гаметах остается по одной (см. схему). В результате оплодотворения в гетерозиготе по двум признакам  $AaBb$  в каждой паре хромосом будут разные



107. Цитологические основы дигибридного скрещивания.

Хромосомы, несущие доминантные гены, красные; рецессивные — синие.

гены одной пары аллелей (на схеме красная и синяя). При мейозе у гибрида первого поколения  $F_1$  в разном количестве образуются четыре сорта гамет. Это зависит от того, что взаимное расположение хромосом во время конъюгации носит случайный характер.

Если, например, к одному полюсу отходит «синяя» палочковидная хромосома, то из другой пары с одинаковой долей вероятности может отойти тоже «синяя» или «красная». В результате оплодотворения и развития второго поколения гибридов  $F_2$  одинаково вероятно образование 16 категорий зигот.

Пользуясь законами Менделя, можно разобраться и в более сложных случаях расщепления — для гибридов, различающихся по трем, четырем и большему числу пар признаков.

В основе всегда будет лежать моногибридное расщепление в отношении 3:1 (при наличии доминирования). Для дигибридов это будет  $(3:1)^2$ , для тригибридов —  $(3:1)^3$ , для  $n$ -й степени гибридности —  $(3:1)^n$ . Для тригибридов, где различия между родительскими формами сводятся к трем генам разных аллелей (назовем их условно  $ABC$  и  $abc$ , генотипическая формула тригетерозиготы первого поколения будет  $AaBbCc$ . Рекомендуем, исходя из правила чистоты гамет, самостоятельно представить картину расщепления тригетерозиготы в  $F_2$ .

1. Каковы цитологические основы единообразия гибридов первого поколения и расщепления признаков во втором поколении при дигибридном скрещивании? 2. У томатов круглая форма плодов ( $A$ ) доминирует над грушевидной ( $a$ ), красная окраска плодов ( $B$ ) — над желтой ( $b$ ). Пользуясь генетическими формулами, напишите ход следующих скрещиваний: растение с красными округлыми плодами скрещено с растением, обладающим грушевидными желтыми плодами. В потомстве все растения дали красные округлые плоды. Каковы генотипы родителей? Гибридов? Напишите формулы.
3. Фенотипы родителей как в предыдущем опыте, но результат иной. Среди гибридов 25% растений дают красные округлые плоды, 25% — красные грушевидные плоды, 25% — желтые округлые плоды, 25% — желтые грушевидные плоды (отношение 1:1:1:1). Каковы генотипы родителей и гибридов?
4. Фенотипы родителей те же, но результат расщепления иной. В потомстве 50% растений дают красные округлые плоды и 50% — красные грушевидные плоды. Каковы генотипы родителей? Каковы генотипы гибридов?



## 57. Явление сцепленного наследования и генетика пола

**Сцепленное наследование.** Независимое распределение генов (второй закон Менделя) основано на том, что гены, относящиеся к разным аллелям, размещены в разных парах гомологичных хромосом. Естественно возникает вопрос: а как же будет происходить распределение разных (неаллельных) генов в ряду поколений, если они лежат в одной и той же паре хромосом? Такое явление должно иметь место, ибо число генов во много раз превосходит число хромосом. Очевидно, к генам, находящимся в одной хромо-



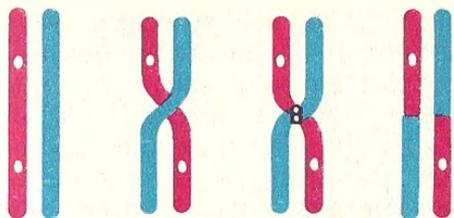
### 108. Разные наследственные формы мухи дрозофила.

сое, закон независимого распределения (второй закон Менделя) не применим. Он ограничен лишь теми случаями, когда гены разных аллелей находятся в различных хромосомах.

Закономерность наследования при нахождении генов в одной хромосоме была тщательно изучена Т. Морганом и его школой. Основным объектом исследований служила небольшая плодовая мушка дрозофила. Это насекомое исключительно удобно для генетической работы. Мушка легко разводится в лабораторных условиях, плодовита, каждые 10—15 дней при оптимальной для нее температуре 25—26°C дает новое поколение, обладает многочисленными и разнообразными наследственными признаками, имеет небольшое число хромосом (в диплоидном наборе — 8).

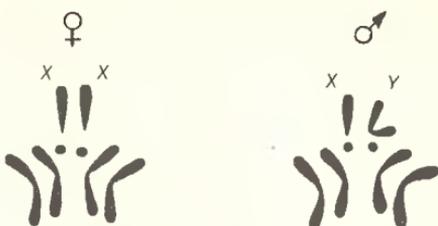
Опыты показали, что гены, локализованные в одной хромосоме, оказываются сцепленными, т. е. наследуются преимущественно вместе, не обнаруживая независимого распределения. Рассмотрим конкретный пример. Если скрестить дрозофилу с серым телом и нормальными крыльями с мушкой, обладающей темной окраской тела и зачаточными крыльями, то в первом поколении гибридов все мушки будут серыми, с нормальными крыльями. Это гетерозигота по двум парам аллелей (серое тело — темное тело и нормальные крылья — зачаточные крылья). Проведем скрещивание. Скрестим самок этих дигетерозиготных мух (серое тело и нормальные крылья) с самцами, обладающими рецессивными признаками — темным телом и зачаточными крыльями. Исходя из второго закона Менделя, можно было бы ожидать получения в потомстве мух четырех фенотипов: 25% серых, с нормальными крыльями; 25% серых, с зачаточными крыльями; 25% темных, с нормальными крыльями; 25% темных, с зачаточными крыльями.

На самом деле в опыте мух с исходной комбинацией признаков (серое тело — нормальные крылья, темное тело — зачаточные крылья) оказывается значительно больше (в данном опыте по 41,5%), чем мух с перекомбинированными признаками (серое тело — зачаточные крылья и темное тело — нормальные крылья).



109. Схема перекреста хромосом.

Два гена, расположенных в одной хромосоме (светлые кружки в красной хромосоме), в результате перекреста оказываются в разных гомологичных хромосомах.



110. Хромосомные комплексы самки и самца дрозофилы.

Их будет всего по 8,5% каждого типа **108**. На этом примере видно, что гены, обусловившие признаки серое тело — нормальные крылья и темное тело — зачаточные крылья, наследуются преимущественно вместе, или, иначе говоря, оказываются сцепленными между собой. Это сцепление является следствием локализации генов в одной и той же хромосоме. Поэтому при мейозе эти гены не расходятся, а наследуются вместе. *Явление сцепления генов, локализованных в одной хромосоме, известно под названием Морганна.*

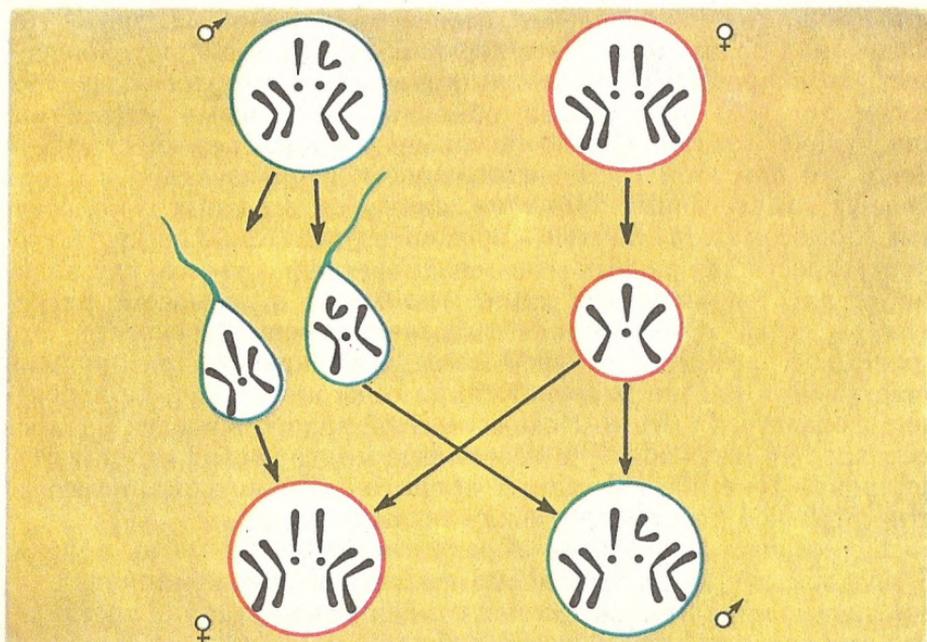
Почему же все-таки среди гибридов второго поколения появляется небольшое число особей с перекомбинацией родительских признаков? Почему сцепление генов не является абсолютным? Исследования показали, что эта перекомбинация генов обусловлена тем, что в процессе мейоза при конъюгации гомологичных хромосом (с. 188) они иногда обмениваются своими участками, или, иначе говоря, между ними происходит перекрест **109**. Ясно, что при этом гены, находившиеся первоначально в одной из двух гомологичных хромосом, окажутся в разных гомологичных хромосомах. Между ними произойдет перекомбинация. Частота перекреста для разных генов оказывается различной. Это зависит от расстояния между ними. Чем ближе в хромосоме расположены гены, тем реже они разделяются при перекресте. Это происходит потому, что хромосомы обмениваются различными участками, и близко расположенные гены имеют больше вероятности оказаться вместе. Исходя из этой закономерности удалось для хорошо изученных в генетическом отношении организмов построить генетические карты хромосом, на которых нанесено относительное расстояние между генами.

Биологическое значение перекреста хромосом очень велико. Благодаря ему создаются новые наследственные комбинации генов, повышается наследственная изменчивость, которая поставляет материал для естественного отбора.

**Генетика пола.** Хорошо известно, что у раздельнополых организмов (в том числе и у человека) соотношение полов обычно составляет 1:1. Какие причины определяют пол развивающегося

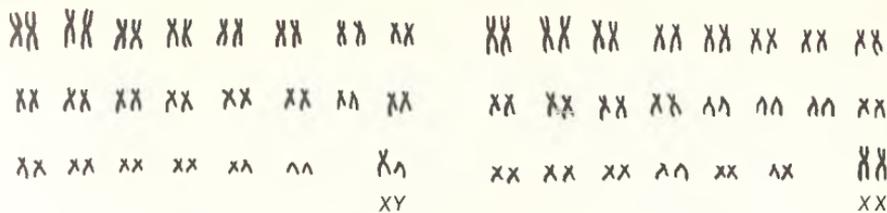
организма? Вопрос этот издавна интересовал человечество ввиду его большого теоретического и практического значения. Хромосомный набор самцов и самок у большинства раздельнополых организмов неодинаков. Познакомимся с этими различиями на примере набора хромосом у дрозофилы **110**. По трем парам хромосом самцы и самки не отличаются друг от друга. Но в отношении одной пары имеются существенные различия. У самки две одинаковые (парные) палочковидные хромосомы; у самца только одна такая хромосома, пару которой составляет особая, двуплечая хромосома. Те хромосомы, в отношении которых между самцами и самками нет различий, называют *аутосомами*. Хромосомы, по которым самцы и самки отличаются друг от друга, называют *половыми*. Таким образом, хромосомный набор дрозофилы складывается из шести аутосом и двух половых хромосом. Половую, палочковидную хромосому, присутствующую у самки в двойном числе, а у самца — в единичном, называют X-хромосомой; вторую, половую (двуплечую хромосому самца, отсутствующую у самки) — Y-хромосомой.

Каким образом рассмотренные половые различия в хромосомных наборах самцов и самок поддерживаются в процессе размножения? Для ответа на этот вопрос необходимо выяснить поведение хромосом в мейозе и при оплодотворении. Сущность этого процесса представлена на рисунке **111**. При созревании



**111. Механизм определения пола у дрозофил.**

У самца образуются гаметы двух категорий: одни несут в гаплоидном наборе X-хромосомы, другие Y-хромосомы.



112. Хромосомный комплекс мужчины (слева) и женщины (справа).  
 У мужчин видны X- и Y-хромосомы; у женщин — две X-хромосомы.

половых клеток у самки каждая яйцеклетка в результате мейоза получает гаплоидный набор из четырех хромосом: три аутосомы и одну X-хромосому. У самцов в равных количествах образуются сперматозоиды двух сортов. Одни несут три аутосомы и X-хромосому, другие — три аутосомы и Y-хромосому. При оплодотворении возможны две комбинации. Яйцеклетка с равной вероятностью может быть оплодотворена спермием с X- или Y-хромосомой. В первом случае из оплодотворенного яйца разовьется самка, а во втором — самец. Пол организма определяется в момент оплодотворения и зависит от хромосомного набора зиготы.

У человека хромосомный механизм определения пола тот же, что и у дрозофилы. Диплоидное число хромосом человека — 46. В это число входят 22 пары аутосом и 2 половые хромосомы. У женщин это две X-хромосомы, у мужчин — одна X- и одна Y-хромосома. Соответственно у мужчин образуются сперматозоиды двух сортов — с X- и Y-хромосомами.

У некоторых раздельнополых организмов (например, некоторых насекомых) Y-хромосома вообще отсутствует. В этих случаях у самца оказывается на одну хромосому меньше: вместо X- и Y- у него имеется одна X-хромосома. Тогда при образовании мужских гамет в процессе мейоза X-хромосома не имеет партнера для конъюгации и отходит в одну из клеток. В результате половина всех сперматозоидов имеет X-хромосому, а другая половина лишена ее. При оплодотворении яйца спермием с X-хромосомой получается комплекс с двумя X-хромосомами, и из такого яйца развивается самка. Если яйцеклетка будет оплодотворена спермием без X-хромосомы, то разовьется организм с одной X-хромосомой (полученной через яйцеклетку от самки), который будет самцом.

Во всех рассмотренных выше примерах развиваются спермии двух категорий: либо с X- и Y-хромосомами (дрозофила, человек), либо половина спермиев несет X-хромосому, а другая совсем лишена половой хромосомы. Яйцеклетки в отношении половых хромосом все одинаковы. Во всех этих случаях мы имеем мужскую гетерогаметность (разногаметность). Женский пол гомогаметен (равногаметен). Наряду с этим в природе встречается и другой тип определения пола, характеризующийся женской гетерогаметностью. Здесь имеют место отношения обратные только что рас-

смотренным. Разные половые хромосомы или только одна X-хромосома свойственны женскому полу. Мужской пол обладает парой одинаковых X-хромосом. Очевидно, в этих случаях будет иметь место женская гетерогаметность. После мейоза образуются яйцевые клетки двух сортов, тогда как в отношении хромосомного комплекса все спермии одинаковы (все несут одну X-хромосому). Следовательно, пол зародыша будет определяться тем, какое яйцо — с X- или Y-хромосомой — будет оплодотворено.

Женская гетерогаметность имеет место у некоторых насекомых, например у бабочек. Среди позвоночных животных она характерна для птиц и пресмыкающихся.

-  1. При какой форме взаимного расположения неаллельных генов осуществляется второй закон Менделя (независимого распределения) и при какой — закон сцепления Моргана? 2. В результате какого процесса нарушается сцепление генов, локализованных в одной хромосоме? 3. В чем заключается генетический механизм определения пола?

## 58. Генотип как целостная система

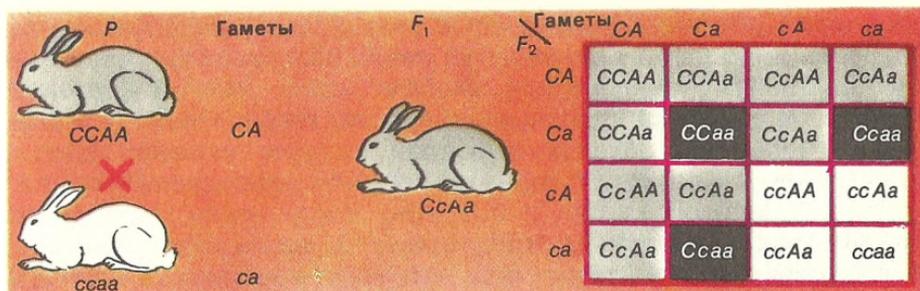
**Взаимодействие генов. Новообразования при скрещивании.** В рассмотренных выше примерах имело место относительно независимое проявление действия генов. Доминантный ген желтой окраски семян гороха вызывает развитие этого признака как в присутствии доминантного гена гладкой формы семян, так и при наличии аллельного ему рецессивного гена морщинистой формы семян. У морских свинок ген черной или белой окраски действует независимо от генов, определяющих характер развития волосяного покрова. На основании знакомства с этими примерами может сложиться впечатление, что генотип организма складывается из суммы отдельных, независимо действующих генов. Такое представление ложно. Хотя в одних случаях действие разных генов относительно независимо, но чаще между ними осуществляются разные формы взаимодействия.

Развитие признака организма обычно находится под контролем многих генов.

Рассмотрим наследование некоторых форм окраски шерсти у кроликов. Расцветка шерсти кроликов и других грызунов бывает очень разнообразной. Генетический анализ показал, что развитие окраски шерсти грызунов обусловлено участием многих генов.

Если скрестить серого и белого гомозиготных кроликов, то в первом поколении гибридов все потомство будет серым. В этом проявляется правило единообразия первого поколения гибридов и доминирование серой окраски над белой.

При скрещивании этих гибридов между собой в  $F_2$  происходит расщепление, которое в ряде случаев дает следующий, на первый взгляд неожиданный, результат: на 9 серых кроликов приходится 3 с черной шерстью и 4 белых. Среди исходных родитель-



113. Схема дигибридного скрещивания и новообразования при скрещивании кроликов.

ских особей черных кроликов не было, и появление их в F<sub>2</sub> представляет собой пример новообразования при скрещивании

Как же понять наблюдаемый в опыте ход расщепления? Генетический анализ показывает, что окраска шерсти определяется в данном случае двумя парами аллельных генов. Одна из них (обозначим ее *C—c*) — основной ген окраски. Когда он присутствует в доминантном состоянии (*C*), получаются темноокрашенные кролики, которые могут быть и черными, и серыми. При рецессивном состоянии этого гена (*c*) пигмент совсем не образуется и кролики получаются белыми. Существует и другая пара аллельных генов (*A—a*), которая воздействует на распределение пигмента, если он уже есть. Ген *A* вызывает неравномерное распределение пигмента по длине волоса: пигмент скапливается у его основания, тогда как кончик волоса оказывается лишенным пигмента. Такие кролики будут серыми. Рецессивная аллель этой пары (ген *a*) не оказывает влияния на распределение пигмента. Легко понять, что серыми будут те кролики, у которых присутствуют два доминантных (неаллельных) гена: *C* (наличие пигмента) и *A* (скопление пигмента у основания волоса). Кролики, у которых ген *C* будет сочетаться с *a*, окажутся равномерно окрашенными (черными). Наконец, рецессивный ген *c* во всех случаях (при сочетании как с *A*, так и с *a*) определит белую окраску шерсти. Наследование окраски шерсти по известной уже нам дигибридной схеме представлено на рисунке 113.

Белые кролики, как это видно из схемы, обладают разными генотипами. Одни из них чисто рецессивные, генотипического состава *ccaa*. Другие наряду с рецессивным геном *c* обладают доминантным геном *A* (гомо- или гетерозиготным). Эти кролики тоже белые, ибо ген *A* — распределитель пигмента в отсутствие гена *C* не имеет фенотипического выражения.

Явление взаимодействия неаллельных генов распространено очень широко.

**Множественное действие генов.** На рассмотренных примерах было показано, что большинство наследственно обусловленных признаков организма находится под контролем не одного, а многих генов. Наряду с этим имеет место и другое явление. Часто ген

оказывает действие не на один, а на ряд признаков организма. Приведем примеры. У большинства растений с красными цветками (наследственный признак) в стеблях тоже имеется красный пигмент. У растений с белыми цветками стебли чисто-зеленые. У водосбора ген, обуславливающий красную окраску цветка, имеет множественное действие. Он определяет фиолетовый оттенок листьев, удлинение стебля и большую массу семян. Множество аналогичных примеров можно привести из животного мира. У плодовой мушки дрозофилы, которая генетически изучена очень полно, ген, определяющий отсутствие пигмента в глазах, снижает плодовитость, влияет на окраску некоторых внутренних органов и уменьшает продолжительность жизни.

Накопившийся в настоящее время в генетике обширный материал по изучению наследственности у самых различных растений, животных, микроорганизмов говорит о том, что гены проявляют множественное действие.

Приведенные факты и наблюдения, касающиеся взаимодействия генов и их множественного действия, позволяют нам значительно углубить общее представление о природе наследственной основы организма — генотипа. Факт расщепления в потомстве гибридов позволяет утверждать, что генотип складывается из отдельных элементов — генов, которые могут отделяться друг от друга и наследоваться независимо (вспомним второй закон Менделя). Вместе с тем генотип обладает целостностью и не может рассматриваться как простая механическая сумма отдельных генов. Эта целостность генотипа, возникающая исторически в процессе эволюции вида, выражается прежде всего в том, что отдельные компоненты его (гены) находятся в тесном взаимодействии друг с другом. Развитие признаков организма определяется взаимодействием множества генов, а каждый ген обладает множественным действием, оказывая влияние на развитие не одного, а многих признаков организма. Генотип организма связан с определенными компонентами клетки, с ее хромосомным аппаратом, с ДНК.



В чем проявляется множественное действие генов?

## **59. Генетика человека и ее значение для медицины и здравоохранения**

На нашей густонаселенной планете Земля не существует двух совершенно одинаковых людей (за исключением однойяйцевых близнецов, см. с. 226). Причины этого многообразия нетрудно понять с генетических позиций.

Число хромосом у человека (в диплоидном наборе) равно 46 (23 пары). Если допустить, что родители отличаются по каждой паре хромосом лишь по одному гену, то общее количество возможных генотипических комбинаций окажется равным  $2^{23}$ . На самом деле количество возможных наследственных комби-

наций будет намного больше, ибо в нашем расчете не учтен перекрест между гомологичными хромосомами и различия по гомологичной паре более чем по одному гену. Следовательно, уже с момента зачатия каждый человек генетически уникален и неповторим.

Действие законов наследственности распространяется также и на человека.

В последнее десятилетие интерес к генетике человека особенно возрос в связи с ее огромным практическим значением для человечества. В настоящее время изучен в большей или меньшей мере характер наследования у человека более чем 2000 признаков, нормальных и патологических. Установлено, что существуют болезни, обусловленные наследственными факторами. Правильное распознавание этих заболеваний важно для их профилактики и лечения. Эти успехи стали возможны после того, как были разработаны методы генетического исследования человека.

**Методы изучения наследственности человека.** Изучение наследственности человека представляет значительные трудности. К человеку неприменимы, разумеется, методы экспериментальной генетики. Человек размножается медленно, и каждая супружеская пара имеет относительно небольшое количество детей. Какие методы используются в генетике человека и в медицинской генетике, изучающей наследственные заболевания людей? Таких основных методов четыре: генеалогический, близнецовый, цитогенетический, биохимический.

Остановимся кратко на характеристике каждого из них.

*Генеалогический метод* заключается в изучении родословной людей за возможно большее число поколений. Таким путем удалось установить характер наследования многих признаков человека, в том числе многих наследственных заболеваний. Вот несколько примеров признаков человека, наследуемых по законам Менделя.

Признаки	
доминантные	рецессивные
Курчавые волосы (у гетерозигот волнистые)	Прямые волосы
Раннее облысение	Норма
Нерыжие волосы	Рыжие волосы
Карие глаза	Голубые или серые глаза
Веснушки	Отсутствие веснушек
Карликовость	Нормальный рост
Полидактилия (лишние пальцы)	Нормальное число пальцев

Генеалогическим методом установлено, что развитие некоторых способностей человека (например, музыкальности, склонности к математическому мышлению и т. п.) определяется наследственными факторами. Известны исторические факты проявления



114. Пять однойцевых близнецов в возрасте 5 лет (Канада, семья Дионн).

музыкальной одаренности во многих поколениях. Примером может служить семья Бахов, где в течение ряда поколений было много музыкантов, в их числе знаменитый композитор начала XVIII в. Иоганн Себастьян Бах.

Разумеется, проявление тех или иных генотипически обусловленных психических особенностей человека, в том числе и одаренности, определяется социальной средой, под влиянием которой и формируется в человеческом обществе личность.

Генеалогическим методом доказано наследование многих заболеваний, например некоторых болезней обмена веществ, в том числе сахарного диабета (рецессивный). Он характеризуется нарушением углеводного обмена и распознается по повышенному содержанию сахара в крови. Существует врожденная (рецессивная) глухота. Некоторые формы тяжелого психического заболевания — шизофрения — тоже наследственны (рецессивны). Известны наследственные заболевания, определяемые не рецессивными, а доминантными генами, например ведущая к слепоте наследственная дегенерация роговицы. Предрасположенность к заболеванию туберкулезом носит наследственный характер.

*Близнецовый метод* состоит в изучении развития признаков у близнецов. Известно, что у человека близнецы бывают двух категорий. В одних случаях оплодотворяется не одна яйцеклетка, а две (в редких случаях три и даже четыре). При этом рождаются дети одного или разных полов, похожие друг на друга как братья и сестры, не являющиеся близнецами. Но иногда одна яйцеклетка дает начало двум (в исключительных случаях трем, четырем и даже пяти) эмбрионам. Тогда получаются однойцевые близнецы, которые всегда относятся к одному полу и обнаруживают поразительное сходство друг с другом. Это понятно, так как они обладают одинаковым генотипом, а различия между ними обусловлены исключительно влиянием среды 114. Изучение однойцевых близнецов в течение всей их жизни, в особенности если они живут в разных условиях, дает много ценных сведений для суждения о роли среды в развитии физических и психических свойств человека.

*Цитогенетический метод* приобрел за последние годы большое значение. Он дал много ценного материала для понимания причин наследственных заболеваний человека. С генетической точки зрения наследственные заболевания представляют собой мутации, большинство которых рецессивны. Они возникают в половых клетках и распространяются в человеческом обществе, не проявляясь фенотипически до тех пор, пока два одинаковых рецессивных аллельных гена не окажутся в результате оплодотворения в одной зиготе.

Существует группа хромосомных мутаций, которые выражаются в видимых изменениях числа или структуры хромосом (с. 234). Такие мутации у человека выявляются цитогенетическим методом. Наличие их устанавливается при исследовании под микроскопом хромосомных наборов, которые отчетливее всего видны на стадии метафазы митоза. До недавнего времени изучение хромосом человека представляло большие трудности, так как их у человека много (диплоидное число — 46, рис. ) и они невелики. За последние годы разработаны новые методы, которые позволяют легко и просто изучить хромосомный набор любого человека, не принося ему никакого вреда. Сущность его сводится к тому, что лейкоциты крови помещают в особую питательную среду при температуре 37°C, где они делятся. Из них изготовляют препараты, на которых видно число и строение хромосом.

Совсем недавно разработаны методы окраски особыми красителями хромосом человека, которые позволяют провести не только количественный подсчет их, но и изучение более тонких изменений структуры отдельных хромосом.

Многие патологические состояния человека обусловлены различными нарушениями нормального хода обмена веществ, что устанавливается соответствующими *биохимическими методами*. Таких наследственно обусловленных отклонений от нормального хода обмена известно несколько десятков. Яркий пример — сахарная болезнь, или диабет. Это заболевание обусловлено нарушением нормальной деятельности поджелудочной железы, которая не выделяет в кровь необходимого количества гормона инсулина. В результате повышается содержание сахара в крови и происходят глубокие нарушения обмена веществ человеческого организма.

**Значение генетики для медицины.** Все большее значение приобретает генетика для медицины. Многие отклонения от нормы и болезни человека обусловлены генотипически. Это особенно отчетливо удается установить в тех случаях, когда у человека происходят изменения в числе хромосом. Известны случаи, когда в хромосомном наборе человека оказывается одна лишняя хромосома и в диплоидном наборе их будет 47. Это нарушение имеет тяжелые последствия. Развивается заболевание, называемое болезнью Дауна. Оно выражается в том, что больной имеет непропорционально маленькую голову, узкие глазные щели, плоское лицо и резко выраженную умственную отсталость.

Происхождение такого рода хромосомных нарушений связано со случайными отклонениями в ходе мейоза. При нормальном ходе этого процесса гомологичные хромосомы расходятся в разные клетки и диплоидный хромосомный набор становится гаплоидным. Если при мейозе обе гомологичные хромосомы одной из пар отойдут к одному полюсу, вместо того чтобы распределиться между двумя клетками, то получится гамета с одной лишней хромосомой.

Кроме болезни Дауна, изучено еще свыше 100 нарушений в структуре хромосомного набора человека, сопровождающихся отклонениями от нормального развития и тяжелыми заболеваниями. Наследственные заболевания определяются особенностями генотипа. Это не означает, что медицина не может бороться с ними. Если в раннем возрасте обнаружено отклонение в хромосомном аппарате, то возможно лечение, которое частично или полностью устраняет тяжелые симптомы заболевания.

На развитие и реализацию генотипа человека в высшей степени отрицательно влияет алкоголь (повышается количество вредных мутаций). Особенно он губителен для молодого растущего организма. Алкоголь затрагивает все стороны развития, как физические, так и психические. Очень часто при его употреблении разрушается печень, почки, отмечаются сердечно-сосудистые заболевания. Губительно действует алкоголь на нервную систему и соответственно на психику. Дети алкоголиков обнаруживают умственную отсталость, психическую и физическую неполноценность.

Большой практический интерес для медицины представляет изучение распределения различных генов в отдельных популяциях людей, например генов, определяющих принадлежность к разным группам крови и т. п. Для этого разработаны специальные методы, на которых мы не будем здесь останавливаться.

Человек — существо социальное, и внешней средой для него является социальная среда, создаваемая самим человеком и различная в разные эпохи человеческой истории. Социальный фактор прежде всего определяет развитие человеческой личности. Но наряду с этим каждый человек обладает своими биологическими особенностями, определяемыми его генотипом. Эта генетическая неоднородность людей находит выражение как в физических признаках (цвет глаз, волос, рост), так и в складе характера, одаренности, склонности к определенным формам деятельности.

Генетическая неоднородность человеческого общества отнюдь не означает биологической неравноценности рас (глава III).

Генотипические возможности человека ярко проявляются в социалистическом обществе, где создаются оптимальные возможности для развития каждой отдельной человеческой личности.

1. Какие существуют методы изучения наследственности человека?
2. Охарактеризуйте генеалогический метод.
3. В чем сущность близнецового метода?
4. Охарактеризуйте цитогенетический метод.
5. Какие вы знаете наследственные заболевания человека?
6. Какими методами исследуются хромосомные мутации человека?
7. Какое практическое значение для медицины имеет изучение генетики человека?
8. Чем обусловлена болезнь Дауна?



## 60. Модификационная изменчивость

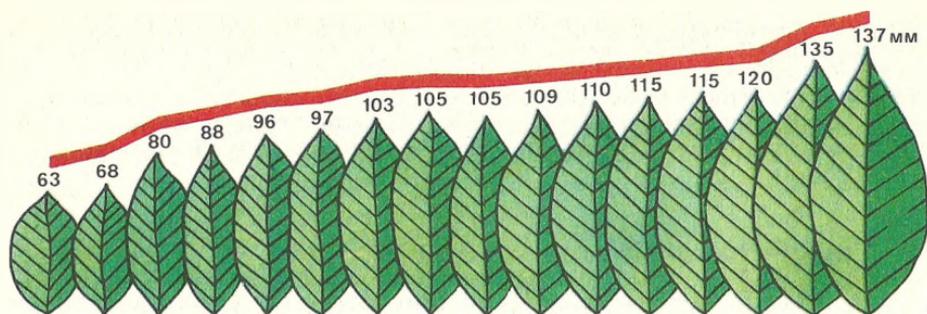
Развитие фенотипа организма определяется взаимодействием его наследственной основы — генотипа — с условиями внешней среды. При одном и том же генотипе, но при разных условиях развития признаки организма (его фенотип) могут существенно различаться.

**Норма реакции.** Различные признаки организма в разной степени изменяются под влиянием внешних условий. Одни из них очень пластичны и изменчивы, другие менее изменчивы, наконец, третьи лишь в очень малой степени могут быть изменены условиями среды. У рогатого скота удои во многом зависят от кормления и ухода, т. е. от условий содержания. Хорошо известно, что удои можно значительно повысить подбором кормов нужного качества и количества. Труднее изменить жирность молока. Процент жира в молоке в большей степени зависит от породы, хотя изменением пищевого рациона и его тоже удается несколько изменить. Гораздо более постоянным признаком является масть. При самых различных условиях она почти не изменяется.

Не следует, однако, думать, что окраска шерсти совсем не зависит от условий среды. У некоторых млекопитающих на окраску шерсти влияет температура окружающей среды. Например, у кроликов горностаевой породы при обычных условиях большая часть шерсти белая, а черная шерсть развивается лишь на ушах, лапах и хвосте. Если выбрить или выщипать шерсть на спине, то при температуре выше нуля опять вырастет белая шерсть, а при низкой температуре (около 0°C) вместо белой вырастет черная шерсть. Можно сказать, что наследуется в данном примере способность развивать белую шерсть на спине при высокой температуре и черную — при низкой.

У организмов проявление действия генов и генотипа в целом зависит от условий среды. Эта форма изменчивости, не связанная с изменением генотипа, носит название *модификационной*. Как вы помните, Дарвин назвал ее ненаследственной. Границы модификационной изменчивости для разных признаков и при разных условиях, как это показано на рассмотренных примерах, могут быть очень различными. *Пределы модификационной изменчивости признака называют его нормой реакции.* Одни признаки (например, молочность) обладают очень широкой нормой реакции, другие (окраска шерсти) — гораздо более узкой.

На основе рассмотренных фактов мы можем углубить данное



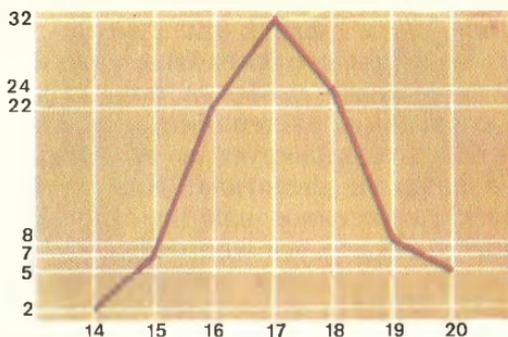
115. Вариационный ряд листьев лавровишни (цифрами показана длина листа).

выше (с. 19) представление о сущности явления наследственности. *Наследуется не признак, как таковой, а способность организма (его генотипа) в результате взаимодействия с условиями развития давать определенный фенотип*, или, иначе говоря, *наследуется норма реакции организма на внешние условия*. Не существует, например, наследственного признака какой-либо породы рогатого скота давать 4000 л молока в год. Этот признак выявляется лишь при определенном режиме кормления и содержания.

Широкая норма реакции (широкая приспособляемость) в природных условиях может иметь важное значение для сохранения и процветания вида. Однако отклонения, вызванные внешними условиями, не изменяют генотипа, они лежат в пределах нормы его реакции.

**Управление доминированием.** У гибрида доминантный и рецессивный признаки определяются прежде всего особенностями гена и его влиянием на развитие признака. Поскольку, однако, фенотип всегда зависит от генотипа и условий среды, то можно ожидать, что, меняя условия развития гибрида, можно воздействовать на характер доминирования признака. Вопрос о возможности управления доминированием и изменения индивидуального развития организма разрабатывал на плодово-ягодных растениях И. В. Мичурин. Он установил важную закономерность доминирования признаков у гибридов. На ряде примеров по гибридизации плодовых деревьев Мичурин показал, что *у гибридов преимущественно доминируют те признаки, которые в окружающей среде встречают наиболее благоприятные условия для своего развития*. Гибриды, полученные в результате скрещивания западноевропейских и американских сортов плодовых деревьев (из стран с мягким климатом) с местными сортами из Тамбовской области (с суровым континентальным климатом), Мичурин выращивал в открытом грунте. В этих условиях проявлялось доминирование признаков зимостойкости, свойственной местным сортам.

**Статистические закономерности модификационной изменчивости.** Если мы измерим длину и ширину листьев, взятых с одного дерева, то увидим, что размеры их варьируют в довольно широких пределах . Эта изменчивость — результат разных



116. Вариационная кривая числа колосков в колосе пшеницы.

условий развития листьев на ветвях дерева; генотип их одинаков. Если некоторое количество листьев расположить в порядке нарастания или убывания признака (например, длины), как это изображено на рисунке 115, то получится ряд изменчивости данного признака, который носит название *вариационного ряда*, слагающегося из отдельных вариантов. Варианта, следовательно, есть единичное выражение развития признака.

Если мы подсчитаем число отдельных вариантов в вариационном ряду, то увидим, что частота встречаемости их неодинакова. Чаще всего встречаются средние члены вариационного ряда, а к обоим концам ряда частота встречаемости будет снижаться. Рассмотрим это на примере изменчивости числа колосков в колосе пшеницы. Для изучения возьмем генетически однородный чистосортный материал. Подсчитав число колосков в разных колосьях, установим, что это число варьирует от 14 до 20. Возьмем, не выбирая, подряд 100 колосьев и определим частоту встречаемости разных вариантов. Мы увидим, что чаще всего встречаются колосья со средним числом колосков (16—18), реже — с большим или меньшим числом их. Вот результат одного из таких подсчетов.

Число колосков в колосе	— 14	15	16	17	18	19	20
Количество колосьев	— 2*	7	22	32	24	8	5

Верхний ряд цифр — выписанные в ряд варианты от наименьшей к большей. Нижний ряд — частота встречаемости каждой варианты. Если сложить ряд нижних цифр, получим 100, что и соответствует числу отдельных наблюдений. Распределение вариантов в вариационном ряду можно выразить наглядно на графике. Графическое выражение изменчивости признака, отражающее как размах вариаций, так и частоту встречаемости отдельных вариантов, называют вариационной кривой 116.

Какими же причинами вызвано такое распределение вариантов в вариационном ряду? Причина этого — внешняя среда и реакция на нее организма. С начала жизни, в течение всего периода развития и до самой смерти каждый организм подвергается действию различных факторов среды. Среди семян пшеницы,

высеянных на поле, нельзя найти два семени, развитие которых протекало бы в совершенно одинаковых условиях. Глубина заделки в почву, физические свойства почвы, взаимодействие и конкуренция с соседними растениями, влажность и освещенность и т. п.— все это варьирует в различных направлениях и отражается на развитии фенотипа. Для того чтобы получить крайнее (наиболее выраженное или наиболее слабое) развитие признака, нужно, чтобы все эти многочисленные факторы среды действовали примерно в одном направлении. Для получения большого колоса с многими колосками нужно, чтобы сочетание всех факторов оказалось наиболее благоприятным. На самом деле большинство растений испытывает воздействие различного характера. Одни благоприятствуют развитию признака, другие задерживают его. При этом фенотип их оказывается где-то среди средних вариантов вариационного ряда. Чем однообразнее условия развития, тем меньше выражена модификационная изменчивость, тем короче будет вариационный ряд. Чем разнообразнее условия среды, тем шире модификационная изменчивость. Размах вариации зависит и от генотипа.

Чтобы дать объективную характеристику изменчивого признака, недостаточно ограничиться исследованием немногих особей, нужно изучить большое их число и построить вариационную кривую. Используя данные вариационной кривой, определяют среднюю величину признака.

1. Приведите примеры признаков различных животных и растений, обладающих широкой и узкой нормой реакции. 2. Пользуясь раздаточным материалом (семена фасоли, бобов, листья акации и др.) и руководствуясь рисунком  постройте вариационный ряд и график. Масштаб произвольный. 3. Используйте данные построенного вами вариационного ряда для определения средней величины признака. Для этого численное выражение признака для каждой варианты умножают на число вариант. Все эти произведения складывают и затем делят на общее число вариантов. Это может быть выражено следующей формулой:

$$M = \frac{\sum(v \cdot p)}{n},$$

где  $M$  — средняя величина,  $v$  — варианта,  $p$  — частота встречаемости варианта,  $\sum$  — знак суммирования и  $n$  — общее число вариант вариационного ряда. Для примера вычислим по этой формуле среднюю величину числа колосков пшеницы (с. 231). Умножим каждую варианту на частоту ее встречаемости. Это составит:  $14 \times 2 = 28$ ;  $15 \times 7 = 105$ ;  $16 \times 22 = 352$ ;  $17 \times 32 = 544$ ;  $18 \times 24 = 432$ ;  $19 \times 8 = 152$ ;  $20 \times 5 = 100$ . Сумма всех этих произведений будет равной 1713. Разделив эту сумму на общее число вариант ряда, которое равняется 100, получим среднюю величину, равную 17, 13.

## 61. Наследственная изменчивость

**Мутационная изменчивость.** Модификационная изменчивость не затрагивает генотипа организма. Наряду с модификациями существует другая форма изменчивости, меняющая генотип. Эту форму изменчивости называют *генотипической* или *мутационной*, а отдельные изменения — *мутациями*. Наследствен-



117. Мутация ослинника [энотеры].

ные изменения могут быть также результатом рекомбинации генов при скрещивании.

Существование наследственных изменений было известно Дарвину. Вся его теория эволюции вытекает из учения о естественном отборе наследственных изменений. Наследственная изменчивость — необходимая предпосылка естественного и искусственного отбора. Однако во времена Дарвина еще отсутствовали опытные данные о наследственности и законы наследования не были известны. Это не давало возможности строго различать разные формы изменчивости.

Понятие о мутациях было введено в науку голландским ботаником де Фризом. У растения ослинник (энотера) он наблюдал появление резких, скачкообразных отклонений от типичной формы, причем эти отклонения оказались наследственными. Дальнейшие исследования на различных объектах — растениях, животных, микроорганизмах — показали, что явление мутационной изменчивости свойственно всем организмам.

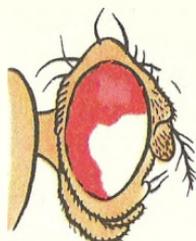
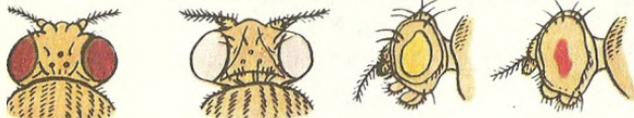
Материальной основой генотипа являются хромосомы. Мутации — это изменения, происходящие в хромосомах под влиянием факторов внешней или внутренней среды. Мутационная изменчивость отличается от комбинативной изменчивости. Мутации — это вновь возникающие изменения в генотипе, тогда как комбинации — новые сочетания родительских генов в зиготе. Мутации затрагивают разнообразные стороны строения и функции организма. Например, у дрозофилы известны мутационные изменения формы крыльев (вплоть до полного их исчезновения), окраски тела, развития щетинок на теле, формы глаз, их окраски (красные, желтые, белые, вишневые и т. п.), а также многих физиологических признаков (продолжительность жизни, плодовитость, стойкость к разным повреждающим воздействиям и т. п.).

Наряду с резкими наследственными отклонениями гораздо чаще встречаются небольшие мутации, лишь немногим отличающиеся от исходных форм. Тем не менее указанные де Фризом признаки мутаций — их скачкообразный характер и наследуемость — остаются в силе. Мутации совершаются в различных

Изменение формы и размера крыльев



Изменение пигментации и формы глаз



Соматическая мутация пигментации глаз. В нижней части глаза пигмент не развит

## 118. Различные мутации дрозофилы.

направлениях и сами по себе не являются приспособительными, полезными для организма изменениями. Об этом уже говорилось в главе, посвященной дарвинизму.

Многие возникающие мутации неблагоприятны для организма и даже могут вызвать его гибель. Большинство таких мутаций рецессивны. В сочетании с аллельным доминантным геном они фенотипически не проявляются. Но иногда происходят и доминантные мутации, снижающие жизнеспособность или даже вызывающие гибель организма. Различают несколько типов мутаций по характеру изменений генотипа.

**Генные мутации.** Наиболее распространенными являются мутации, не связанные с видимыми в микроскоп изменениями строения хромосом. Такие мутации представляют собой качественные изменения отдельных генов и носят название *генных мутаций*. На основании исследований, проведенных главным образом на микроорганизмах, установлено, что такие мутации связаны с преобразованием химической структуры ДНК, входящей в состав хромосом. Изменение последовательности нуклеотидов в хромосомной ДНК, выпадение одних и включение других нуклеотидов меняют состав образующейся на ДНК молекулы РНК, а это, в свою очередь, обуславливает новую последовательность аминокислот при синтезе белковой молекулы (с. 172). В результате в клетке начинает синтезироваться новый белок, что приводит к появлению у организма новых свойств.

**Хромосомные мутации.** Известны мутации, связанные с видимыми преобразованиями хромосом. К числу таких изменений относятся, например, перемещение части одной хромосомы на другую, ей негомологичную, поворот участка хромосомы на  $180^\circ$  и ряд структурных изменений отдельных хромосом.

К особой группе мутаций относятся изменения числа хромосом. Эти мутации сводятся к появлению лишних или утере некоторых хромосом. Такого рода изменения в хромосомном составе происходят при нарушении в силу каких либо причин нормального хода мейоза, когда вместо нормального распределения хромосом между дочерними клетками обе гомологичные хромо-

сомы оказываются в одной клетке. Обычно такого рода нарушения снижают жизнеспособность организма.

Особый тип наследственных изменений представляет собой явление *полиплоидии*, которое выражается в кратном увеличении числа хромосом. Возникновение полиплоидов обычно связано с нарушением процессов митоза или мейоза. При митотическом делении хромосомы иногда не расходятся к полюсам и не образуют дочерних ядер, а остаются в том же ядре. Если этот процесс происходит не в половой, а в соматической клетке с диплоидным набором хромосом, то сразу возникает клетка, содержащая в два раза больше хромосом, чем диплоидная — тетраплоидная клетка. Она имеет, следовательно, вместо двух гаплоидных наборов четыре ( $4n$ ). Если это наблюдается при мейозе, то конъюгирующие гомологичные хромосомы не расходятся к противоположным полюсам и возникают диплоидные гаметы. Если такая гамета при оплодотворении сольется с нормальной гаплоидной, то возникает триплоидная зигота ( $3n$ ). Если обе гаметы окажутся диплоидными, то возникает тетраплоидная зигота ( $4n$ ).

Полиплоидные виды довольно часто наблюдаются в природе у растений и очень редко встречаются у животных. Полиплоиды у растений по сравнению с диплоидами часто характеризуются более мощным ростом, большим размером и массой семян и плодов и т. п. Явление полиплоидии широко используют на практике в работе по созданию высокопродуктивных сортов растений.

В настоящее время разработаны методы, позволяющие получать полиплоиды экспериментально, воздействуя на делящуюся клетку ядами (например, колхицином), разрушающими веретено деления, но не препятствующими удвоению хромосом.

**Соматические мутации.** Мутации связаны с изменениями в строении (изменения нуклеотидов в молекуле ДНК) или числе хромосом. Если эти изменения происходят в половых клетках, то они проявляются в том поколении, которое развивается из половых клеток. Но подобные изменения могут иметь место и в соматических клетках. Их называют *соматическими мутациями*. Такие мутации приводят к изменению признака только части организма, развивающегося из измененных клеток. На рисунке  изображена соматическая мутация белоглазости, захватившая часть глаза дрозофилы.

У животных соматические мутации не передаются последующим поколениям, поскольку из соматических клеток новый организм не возникает. Другое дело у растений. При помощи отводков и прививок иногда удается сохранить возникшее изменение, и оно оказывается стойким, наследственным.

**Частота и причины мутаций.** Учет возникающих мутаций представляет собой большие трудности. Большинство мутаций рецессивны. Они возникают в генах, локализованных в хромосомах половых клеток. Гамета, несущая вновь возникшую рецессивную

мутацию, при оплодотворении обычно соединяется с гаметой, которая такой мутации не несет. Поэтому вновь возникшая рецессивная мутация фенотипически не проявится. Однако в последующих поколениях она будет размножаться вместе с несущей ее хромосомой и распространяться среди особей данного вида. Лишь когда соединятся две гаметы, несущие одну и ту же рецессивную мутацию, она проявится фенотипически.

В природных условиях мутация каждого отдельно взятого гена происходит очень редко. Может возникнуть представление, что малая изменчивость гена не может дать достаточного материала для естественного отбора. На самом деле это не так. У организма имеется несколько тысяч генов, так что общее число мутаций оказывается значительным. Для той же дрозофилы, например, высчитано, что около 5% ее гамет несут какую-нибудь мутацию. Исследования распространения мутаций в природных популяциях дрозофилы, проведенные в разных географических зонах, показали, что они «насыщены» разнообразными мутациями, большинство которых в силу рецессивности фенотипически не проявляется.

В связи с тем что мутации каждого гена происходят редко, можно говорить о его значительной стойкости. Это имеет большое биологическое значение. Если бы гены легко и часто изменялись, то существование видов стало бы невозможно, ибо в каждом поколении организмы превращались бы в нечто совершенно новое, не похожее на родителей. Относительная стойкость видов — важное условие приспособленности организма к среде обитания.

Способность к мутированию — одно из основных свойств гена. Разумеется, каждая отдельная мутация вызывается какой-то причиной. Однако в большинстве случаев эти причины остаются нам неизвестными. Мутации связаны с изменениями во внешней среде. Это убедительно доказывается тем, что искусственным воздействием различных внешних факторов удается резко повысить число возникающих мутаций. Особенно эффективно действующими факторами экспериментального получения мутаций оказываются такие, которые влияют на нуклеиновые кислоты. Это понятно, так как гены — это участки цепи ДНК.

**Экспериментальное получение мутаций.** Впервые в опыте резкое повышение числа возникающих наследственных изменений было получено действием лучей Рентгена. Под влиянием рентгенизации число получаемых мутаций удалось повысить в 150 раз и даже более. С тех пор экспериментальное получение мутаций осуществлено на различных организмах, от бактерий и вирусов до млекопитающих и цветковых растений. Кроме лучей Рентгена и других форм ионизирующей радиации, мутации могут быть вызваны различными химическими и физическими воздействиями: температурой, изменением газового режима, влажности и т. п. Изменения, затрагивающие процессы обмена веществ, в особен-

ности синтез ДНК, оказывают влияние на мутационный процесс. Получение мутаций имеет и практическое значение, так как повышает наследственную изменчивость, давая материал для отбора.

**Закон гомологических рядов в наследственной изменчивости.** Важная закономерность была установлена Н. И. Вавиловым. Она известна под именем закона гомологических рядов в наследственной изменчивости. Сущность этого закона сводится к тому, что *виды и роды, генетически близкие* (связанные друг с другом единством происхождения), *характеризуются сходными рядами в наследственной изменчивости.* Зная наследственные изменения у одного вида, можно предвидеть нахождение сходных изменений у родственных видов и родов. Несколько примеров гомологических рядов изменчивости в семействе злаков даны в прилагаемой таблице. У животных мы также встречаемся с проявлением этой закономерности. Например, у грызунов существуют гомологические ряды по окраске шерсти.

Закон гомологических рядов — это общая закономерность наследственной изменчивости. Она имеет важное практическое значение, так как облегчает поиски наследственных уклонений для отбора.

**Гомологические ряды в наследственной изменчивости в семействе злаковых (по Н. И. Вавилову) \***

Наследственное варьирование признаков			Рожь	Пшеница	Ячмень	Овес	Просо	Сорго	Кукуруза	Рис	Пырей
Соцветие	Пленчатость	Пленчатое (плотно заключено в колосковых чешуях) Голое (легко освобождается от чешуй)	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	Остистость	Остистое Безостое	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Окраска	Окраска	Короткоостистое Белая	+	+	+	+	+	+	+	+	+
		Красная Зеленая (серо-зеленая)	+	+	+			+	+	+	
Зерно	Окраска	Черная (темно-серая)	+	+	+	+			+	+	
		Фиолетовая	+	+	+			+	+	+	+
	Форма	Округлая Удлиненная	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	Консистенция	Стекловидная Мучнистая	+	+	+	+	+	+	+	+	+

\* Таблица взята из работы Н. И. Вавилова «Закон гомологических рядов в наследственной изменчивости», 1935.

Биологи- ческие признаки	Образ жизни	Озимый	+	+	+	+				+	
		Яровой	+	+	+	+	+	+	+	+	
	Скороспе- лость	Полуозимый	+	+	+	+	+	+	+	+	
		Поздняя	+	+	+	+	+	+	+	+	+
		Ранняя	+	+	+	+	+	+	+	+	+

Примечание. Знак «+» означает наличие наследственных форм, обладающих указанным признаком.

- ? 1. В чем различия между модификационной и мутационной изменчивостью? 2. В чем различие между генными и хромосомными мутациями? 3. Что такое полиплоидия? Какие существуют методы экспериментального получения мутаций?

## 62. Материальные основы наследственности и изменчивости

**Генотип — целостная система.** Ознакомившись с основными законами генетики, мы можем теперь подвести некоторые итоги и углубить наше представление о гене и генотипе организмов. Реальное существование гена доказывается двумя группами фактов: относительно независимым комбинированием при расщеплении; способностью изменяться — мутировать. К числу основных свойств гена относится и его способность к удвоению при удвоении хромосом. Гены обладают значительной устойчивостью, что и определяет относительное постоянство вида. Между генами осуществляется тесное взаимодействие, в результате чего генотип в целом не может рассматриваться как простая механическая сумма генов, а представляет собой сложную, сложившуюся в процессе эволюции организмов систему.

Носителями материальных основ наследственности — генов — служат хромосомы, в состав которых входят ДНК и белки. Основной перечисленных выше свойств гена является способность ДНК к самоудвоению. В основе действия гена в процессе развития организма лежит его способность через посредство РНК определять синтез белков. В молекуле ДНК как бы записана информация, определяющая химическую структуру белковых молекул.

Этот механизм является общим на всех ступенях эволюции от вирусов и бактерий до млекопитающих и цветковых растений. Это указывает на то, что биологическая роль нуклеиновых кислот определилась на очень ранних этапах эволюции жизни, возможно, в самый момент перехода от неживого к живому.

Несмотря на большие успехи в развитии генетики, еще многие вопросы не решены наукой. Так, не вполне ясно, каким образом гены действуют в процессе индивидуального развития организма (онтогенеза). В каждой клетке имеется диплоидный набор хромосом, а следовательно, и весь набор генов данного вида. Очевидно, что в разных клетках и тканях функционируют лишь немногие гены, а именно те, которые определяют свойства данной клетки, ткани, органа. Каков же механизм, обеспечивающий

активность определенных генов? Эта проблема сейчас усиленно разрабатывается в науке.

**Цитоплазматическая наследственность.** Все данные современной генетики подтверждают ведущую роль хромосом в наследственности. Хромосомная теория основывается на огромном количестве фактов. Но и в цитоплазме существуют структуры, которые наряду с хромосомами ядра играют роль в наследственности, они определяют цитоплазматическую наследственность.

У растений пластиды (в том числе и хлоропласты) размножаются путем деления. Эти органоиды, так же как и клеточное ядро, обладают способностью к самовоспроизведению. У цветковых растений в яйцеклетке содержатся пластиды, которые передаются следующему поколению. Через пыльцевую трубку передача пластид тоже возможна, но в небольшом количестве и не всегда. У ряда растений описаны наследственные изменения (мутации), касающиеся свойств хлоропластов. Одним из таких изменений является потеря (полная или частичная) хлоропластами способности к синтезу хлорофилла. Если это изменение затронет только часть клеток, то получается характерная картина пестролистности: отдельные части листа и других зеленых органов растений лишены хлорофилла и оказываются светлыми. Кроме хлоропластов, самовоспроизводящимися органоидами клетки являются митохондрии (с. 134). В них так же, как и в хлоропластах, обнаружена ДНК. В настоящее время главным образом у одноклеточных организмов (дрожжи, простейшие) найдены мутации, связанные с изменением ДНК митохондрий. У многоклеточных организмов, размножающихся половым путем, характерная черта цитоплазматической наследственности передача наследственной информации по материнской линии. Это объясняется тем, что яйцеклетка богата цитоплазмой, а сперматозоид почти лишен ее.

Все это позволяет говорить не только о хромосомной, но и о цитоплазматической наследственности, играющей, однако, второстепенную, подчиненную роль.

1. Что является материальной основой гена? Объясните подробно, как вы понимаете выражение «наследственная информация записана в последовательности нуклеотидов молекулы ДНК». 2. Одинакова или различна наследственная информация, записанная в ДНК хромосом нервной и эпителиальной клеток одного и того же организма? Подробно аргументируйте ваш ответ. 3. Что представляет собой цитоплазматическая наследственность? Приведите примеры.



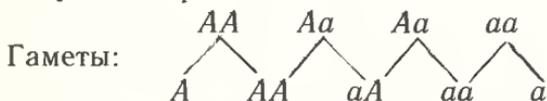
## 63. Генетика и эволюционная теория

Разработанная Дарвином эволюционная теория основывается на следующих факторах: изменчивости, наследственности, борьбе за существование и естественном отборе. Главное значение как материал для отбора имеет, по Дарвину, наследственная изменчивость. В настоящее время эти положения глубоко разрабатываются.

В свете современных научных данных можно утверждать, что основу дарвиновской наследственной изменчивости составляют мутации. Их и следует рассматривать как основной первичный материал для эволюционного процесса. Особи, несущие одни мутации, скрещиваются с особями, имеющими другие мутации. Получаются новые сочетания генов, новые генотипы. Эта изменчивость и дает первичный материал для естественного отбора, ведущего к образованию новых видов.

**Генетика популяций.** Основной формой существования вида являются популяции (с. 18). Для того чтобы конкретно представить начальные этапы эволюции, важно изучить те генетические процессы, которые протекают в популяциях. Действие генетических законов в популяциях представляет предмет исследования особого раздела генетики, называемого генетикой популяций и имеющего большое значение для эволюционной теории. Познакомимся с некоторыми положениями этой области генетики.

Допустим, что в популяции происходит свободное скрещивание доминантной и рецессивной форм, отличающихся по одной паре аллелей:  $AA$  и  $aa$  (с. 207). В первом поколении все гибриды будут гетерозиготны, а далее в  $F_2$  и последующих поколениях пойдет расщепление. В  $F_2$  будет следующее соотношение генотипов:  $1A+2Aa+1aa$ . Каковы же будут в последующих поколениях соотношения гомо- и гетерозигот при свободном скрещивании? Это легко рассчитать, если определить, сколько гамет и каких получим от различных генотипов:

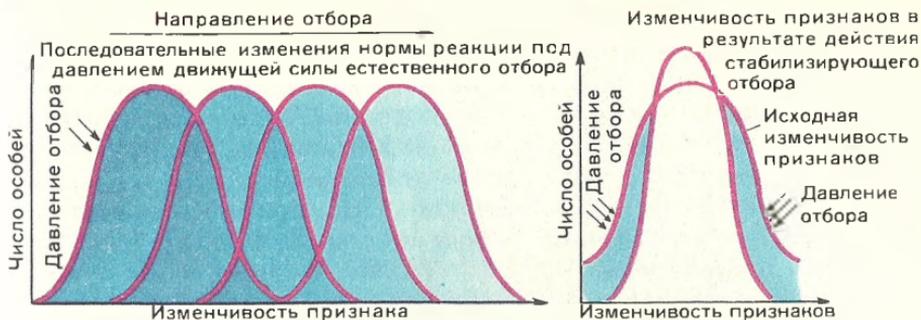


Простой подсчет показывает, что гамет, несущих ген  $A$  и несущих ген  $a$  (аллельные гены), будет поровну. Следовательно, при образовании зигот возникнут следующие комбинации:

♀ \ ♂	0,5A	0,5a
0,5A	0,25AA	0,25Aa
0,5a	0,25Aa	0,25aa

То же соотношение повторится и в поколениях.

Из поколения в поколение при свободном скрещивании относительные частоты генов (и соответственно гомо- и гетерозигот) не меняются. Эта закономерность по имени установивших ее в 1908 г. ученых носит название закона Харди — Вайнберга. Закон справедлив, однако лишь при соблюдении следующих условий: популяция должна быть достаточно велика, чтобы обеспечить возможность случайного сочетания генов; должен отсут-



### 119. Формы естественного отбора.

ствовать отбор, благоприятствующий или неблагоприятствующий определенным генам; не должно возникать новых мутаций; не должна происходить миграция особей с иными генотипами из соседних популяций данного вида. В существующих в природе популяциях эти условия не соблюдаются, так как действует естественный отбор, происходят мутации и миграции особей. Это приводит к нарушению равновесия генов в популяциях.

Постоянно протекающий мутационный процесс и свободное скрещивание приводят к тому, что в пределах популяции накапливается большое количество внешне не проявляющихся наследственных изменений (подавляющее большинство возникающих мутаций рецессивно). Эти важные для понимания хода начальных стадий эволюции факты были установлены советским ученым С. С. Четвериковым. Генетические исследования природных популяций растений и животных показали, что при относительной фенотипической однородности они насыщены разнообразными рецессивными мутациями. Хромосомы, в которых возникли мутации, в результате удвоения при делении клетки постепенно распространяются среди популяций. Мутации не проявляются фенотипически до тех пор, пока остаются гетерозиготными. По достижении достаточно высокой концентрации мутаций становится вероятным скрещивание особей, несущих аллельные рецессивные гены. В этих случаях мутации проявятся фенотипически и подпадут под прямой контроль естественного отбора. Таким образом, каждый вид и каждая его популяция представляют сложную гетерозиготную систему, таящую в себе, по выражению академика И. И. Шмальгаузена, «резерв наследственной изменчивости», который может быть «мобилизован» через естественный отбор при изменении условий существования популяций. Для каждой популяции характерен свой генофонд. *Генофонд* — это совокупность генов популяции, вида или иной систематической группы.

Каждая популяция как бы таит в своих недрах возможности для быстрого изменения в соответствии с направлением естественного отбора.

**Формы естественного отбора.** Знакомство с генетикой позволя-

ет нам углубить и конкретизировать вопрос о разных формах естественного отбора (с. 30), протекающего в природе. В разных условиях среды действие естественного отбора носит различный характер. Предположим, что создались условия, при которых отдельные возникающие наследственные отклонения полезны. В этом случае действие отбора будет направлено в одну определенную сторону. Это приведет к постепенному изменению фенотипа, к смене нормы реакции в одном определенном направлении [1]. Такая форма отбора носит название *движущего отбора*. Приведем пример. Близ промышленных центров в воздухе много копоти, дыма. Стволы берез приобретают грязно-коричневый оттенок. У живущей на березе бабочки березовой пяденицы иногда появляются темноокрашенные мутанты. В обычных условиях сельской местности они отменяются отбором, так как темная окраска делает бабочек заметными на фоне белой коры березы, и их поедают птицы. Иное дело — на загрязненной дымом березе. В этих условиях темные пяденицы становятся менее заметными и естественный



**120. Пример действия стабилизирующего отбора.**

В относительно постоянных условиях среды стабилизирующий отбор способствует сохранению полезным виду признаков (плавники, обтекаемая форма, пропорция тела — все приспособлено к условиям существования в водной среде).

отбор их сохраняет. Фактором, осуществляющим этот отбор, преимущественно служат птицы, поедающие бабочек. При большой интенсивности отбора через короткий промежуток времени возникает популяция, характеризующаяся темной окраской. Например, в окрестностях города Манчестера темная форма березовой пяденицы вытеснила светлую форму примерно за 20 лет. Движущий отбор играет основную роль в эволюции, в развитии приспособлений. Так, например, протекала эволюция лошади — от пятипалой конечности к однопалой; и так же шло образование бескрылых островных форм насекомых, и т. п.

Наряду с движущим естественным отбором в природе широко осуществляется и другая его форма — *стабилизирующий отбор*. У видов, живущих в относительно постоянных условиях, возникающие изменения могут быть неблагоприятными. В таких случаях сохраняются мутации, ведущие к меньшей изменчивости данного признака, и отсекаются мутации, определяющие более широкую изменчивость 119. Вот пример действия стабилизирующего отбора. У опыляемых насекомыми растений малой изменчивостью характеризуются части цветка. Это связано с тем, что пропорции цветка приспособлены к размерам опыляющих их насекомых и широкая изменчивость здесь отразилась бы неблагоприятно на ходе опыления. Под действием стабилизирующего отбора устойчиво закрепились пропорции и размеры частей цветка.

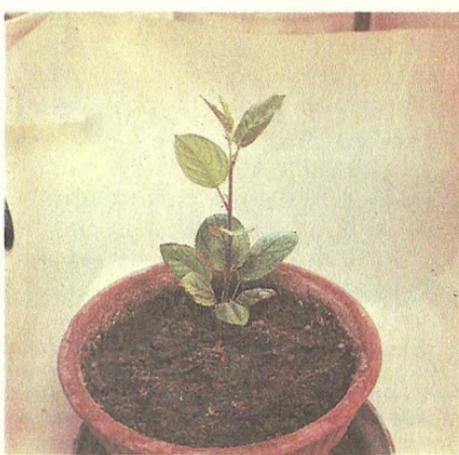
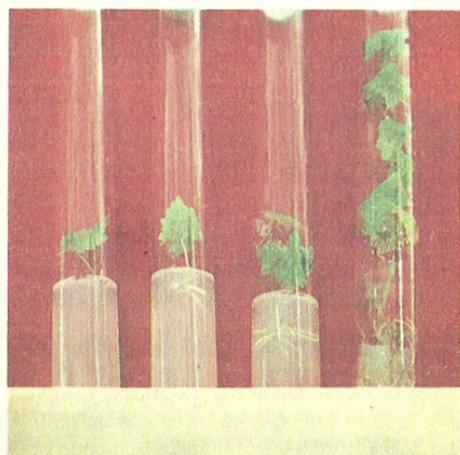
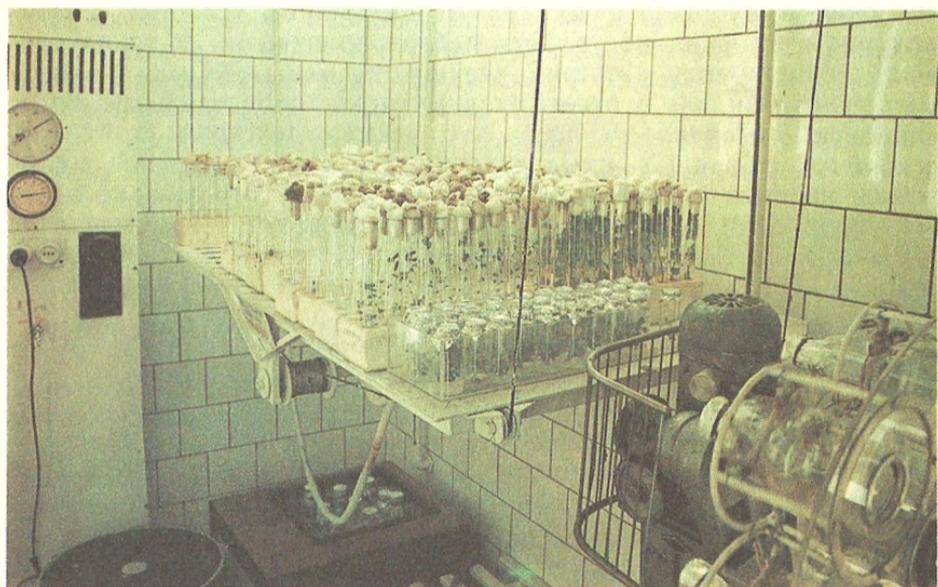
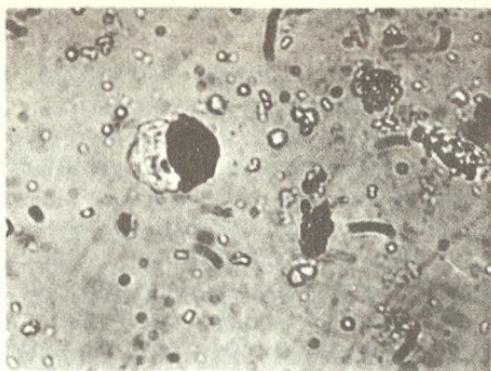
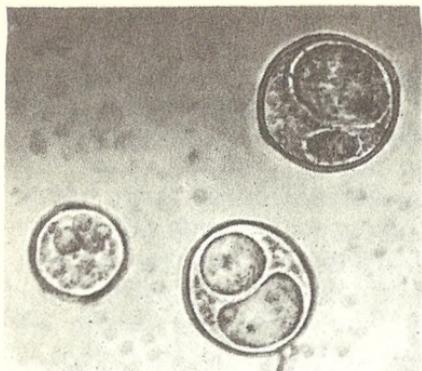
Другой пример действия стабилизирующего отбора приведен выше (с. 30). После снегопада и бури, прошедшей в Англии, выжили преимущественно воробьи со средней длиной крыла. Длиннокрылые и короткокрылые погибали в большем количестве. Отбор в данном случае как бы «сохраняет норму». Если условия жизни вида долгое время не меняются, то стабилизирующий отбор способствует не изменению, а сохранению признаков вида, приспособленных к данным условиям. Если же условия существования вида изменятся, то ведущую роль приобретают движущие формы отбора, приводящие к изменению вида, к видообразованию.

Движущая и стабилизирующая формы отбора в природе тесно связаны друг с другом. Движущий отбор преобразует виды в меняющихся условиях окружающей среды. Стабилизирующий отбор закрепляет полезные формы в относительно постоянных условиях среды 120.

Генетический анализ популяций позволяет значительно углубить и уточнить наши знания о характере изменчивости организмов в природе и конкретно уяснить механизм действия естественного отбора как основного фактора микроэволюции и видообразования (с. 38).

1. Какая форма изменчивости дает исходный материал для естественного отбора в природе? 2. Что такое стабилизирующий отбор? При каких условиях он преимущественно осуществляется в природе? 3. Как вы представляете себе соотношение между движущей и стабилизирующей формами естественного отбора? 4. Разъясните понятие «генофонд популяции».





# Селекция растений, животных и микроорганизмов

### 64. Задачи современной селекции

В своей хозяйственной деятельности человек с самых древних времен изменял окружающую его природу, приручал диких животных, возделывал растения, создавал полезные для себя породы и сорта. Однако научные основы создания человеком новых сортов растений и пород животных были раскрыты лишь Дарвином в его учении об изменчивости, наследственности и отборе.

Селекция в прямом смысле этого слова означает отбор. Но в широком понимании селекция — это комплексная наука, направленная в основном на повышение производительности сельского хозяйства и базирующаяся не только на учении об отборе, но и на ряде других закономерностей биологии.

Задача селекции состоит в создании новых и улучшении уже существующих сортов растений, пород животных и штаммов микроорганизмов.

Выдающийся советский генетик и селекционер, академик Н. И. Вавилов, определяя содержание и задачи современной селекции, указывал, что для успешной работы по созданию сортов и пород следует изучать и учитывать: исходное сортовое и видовое разнообразие растений и животных; наследственную изменчивость (мутации); роль среды в развитии и проявлении изучаемых признаков; закономерности наследования при гибридизации; формы искусственного отбора, направленные на выделение и закрепление желательных признаков.

Что такое сорт или порода? Породой животных или сортом растений называют такую совокупность особей (популяцию), искусственно созданную человеком, которая характеризуется определенными наследственными особенностями: продуктивностью, морфологическими и физиологическими признаками.

Для каждой породы или сорта характерна определенная реакция на окружающую среду. Положительные качества фенотипа породы или сорта наиболее полно проявляются лишь при известных условиях содержания, кормления, агротехники, при

**Биотехнология (клеточная инженерия) получения ценных саженцев.**

Содержимое различных клеток (вверху слева), освобожденное от оболочек, сливается, вследствие чего возникает гибридная клетка (вверху справа). Затем гибридная клетка проходит несколько этапов размножения: сначала в специальной камере (в центре), потом в пробирке с питательной смесью. Сформировавшееся растение высаживают в грунт.



**Н. И. Вавилов.**

наличии комплекса определенных климатических факторов. Поэтому породы и сорта, выведенные в одной стране, далеко не всегда пригодны для другой страны, для другой почвенно-климатической зоны.

Во всех странах, в том числе и в Советской Союзе, существует обширная система научных и научно-практических учреждений: институтов, селекционных станций, племенных хозяйств, которые планомерно занимаются в общегосударственном масштабе этой сложной работой. Для проверки вновь создаваемых сортов растений в нашей стране существует большая сеть сортоиспытательных участков (госсортосеть), на которых всесторонне изучают свойства вновь создаваемых сортов. В животноводстве аналогичную работу проводят племенные хозяйства.

За годы существования Советской власти выведены сотни сортов зерновых, бобовых, масличных, прядильных, овощных и других культурных растений. Только по одной пшенице Государственной комиссией по сортоиспытанию апробировано и районировано свыше 300 сортов.

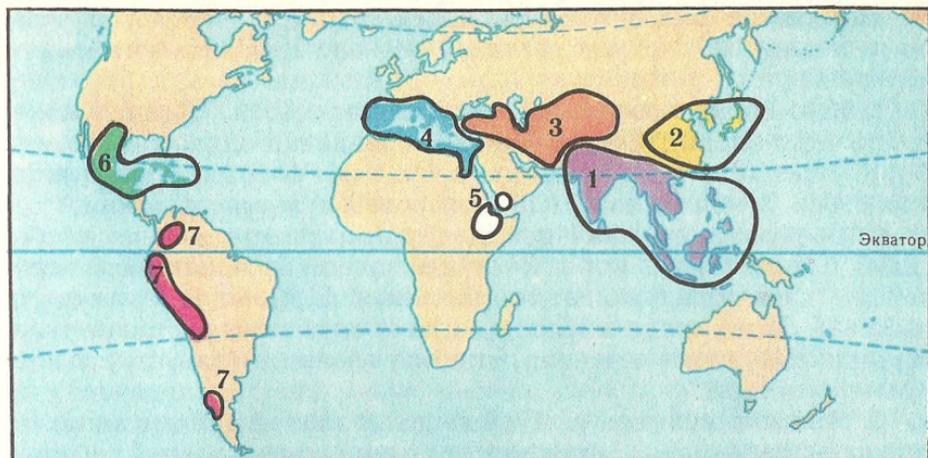
В СССР имеется ряд высокопродуктивных пород крупного рогатого скота — холмогорская, ярославская, серая украинская и др. Селекция играет большую роль в реализации Продовольственной программы в нашей стране.

В СССР имеется ряд высокопродуктивных пород крупного рогатого скота — холмогорская, ярославская, серая украинская и др. Селекция играет большую роль в реализации Продовольственной программы в нашей стране.

**?** 1. Что такое селекция? Какое значение для развития селекции сыграли теория Дарвина и современная генетика? 2. Что такое сорт и порода? Разъясните на примерах.

## **65. Центры многообразия и происхождения культурных растений**

Чем разнообразнее исходный материал, используемый для селекции, тем большие возможности дает он для успешного создания сортов и тем эффективнее будут результаты селекции. Но где в природе искать это многообразие? Н. И. Вавилов с сотрудниками в результате многочисленных экспедиций изучил многообразие и географическое распространение культурных растений. Экспедициями были охвачены вся территория Советского Союза и много зарубежных стран: Иран, Афганистан, страны



121. Центры многообразия и происхождения культурных растений (по Н. И. Вавилону).

Средиземноморья, Эфиопия, Центральная Азия, Япония, Северная, Центральная и Южная Америка и др. Во время этих поездок было изучено около 1600 видов культурных растений. Из экспедиций были привезены тысячи образцов семян, которые высевали в питомниках Всесоюзного института растениеводства, расположенных в разных географических зонах СССР. Работа по изучению мирового многообразия культурных растений продолжается и в настоящее время. Эти ценнейшие, все время пополняемые уникальные коллекции служат материалом для селекционной работы.

В результате изучения всего этого колоссального материала Н. И. Вавилов установил важные закономерности, показав, что не во всех географических зонах культурные растения обладают одинаковым разнообразием. Для разных культур существуют свои центры многообразия, где сосредоточено наибольшее число сортов, разновидностей, разнообразных наследственных уклонений. Эти центры многообразия являются и районами происхождения сортов данной культуры. Большинство центров совпадает с древними очагами земледелия. Это в основном не равнинные, а горные районы. Таких центров многообразия Н. И. Вавилов насчитал сначала 8. В более поздних работах он различает 7 основных центров **121**.

**1. Южноазиатский тропический центр.** Тропическая Индия, Индокитай, Южный Китай, острова Юго-Восточной Азии. Исключительно богат культурными растениями (около половины известных видов культурных растений). Родина риса, сахарного тростника, множество плодовых и овощных культур.

**2. Восточноазиатский центр.** Центральный и Восточный Китай, Япония, остров Тайвань, Корея. Родина сои, нескольких видов про-

са, множества плодовых и овощных культур. Этот центр тоже богат видами культурных растений — около 20% мирового многообразия.

**3. Юго-Западноазиатский центр.** Малая Азия, Средняя Азия, Иран, Афганистан, Северо-Западная Индия. Родина нескольких форм пшеницы, ржи, многих зерновых, бобовых, винограда, плодовых. В нем возникло 14% мировой культурной флоры.

**4. Средиземноморский центр.** Страны, расположенные по берегам Средиземного моря. Этот центр, где располагались величайшие древние цивилизации, дал около 11% видов культурных растений. В их числе маслины, многие кормовые растения (клевер, одноцветковая чечевица), многие овощные (капуста) и кормовые культуры.

**5. Абиссинский центр.** Небольшой район Африканского материка (территория Эфиопии) с очень своеобразной флорой культурных растений. Очевидно, очень древний очаг самобытной земледельческой культуры. Родина зернового сорго, одного вида бананов, масличного растения нута, ряда особых форм пшеницы и ячменя.

**6. Центральноамериканский центр.** Южная Мексика. Родина кукурузы, длинноволокнистого хлопчатника, какао, ряда тыквенных, фасоли — всего около 900 видов культурных растений.

**7. Андийский (Южноамериканский) центр.** Включает часть района Андийского горного хребта вдоль западного побережья Южной Америки. Родина многих клубненосных растений, в том числе картофеля, некоторых лекарственных растений (кокаиновый куст, хинное дерево и др.).

Подавляющее большинство культурных растений связано в своем происхождении с одним или несколькими из перечисленных выше географических центров.

**?** Какое значение для практической селекции имеет учение Н. И. Вавилова о центрах многообразия и происхождения культурных растений?

## 66. Селекция растений

**Методы селекции растений.** Основными методами селекции растений служат гибридизация и отбор. Обычно эти методы используются совместно.

Методы отбора зависят от формы размножения данного вида растений. Различают две основные формы отбора — массовый и индивидуальный.

**Массовый отбор** сводится к выделению из исходного материала целой группы особей, которые обладают желательными для селекционера признаками.

Массовый отбор часто проводится среди перекрестноопыляемых растений. Многие распространенные сорта ржи (например, сорт Вятка) выведены этим методом. Массовый

отбор не приводит к выделению генотипически однородного материала, потому что в популяциях перекрестноопыляющихся растений всегда имеется большое количество гетерозиготных особей (с. 207). Массовый отбор обычно применяется многократно в ряду последующих поколений, но может быть и однократным.

*Индивидуальный отбор* сводится к выделению отдельных особей с интересующими человека признаками и получению от них потомства. Он также может быть однократным или повторяющимся. Этот метод наиболее применим к самоопыляющимся растениям (пшеница, ячмень, овес). Потомство одной самоопыляющейся особи называют чистой линией. Индивидуальный отбор приводит к выделению чистых линий, которые благодаря самоопылению состоят из гомозиготных форм. (Вспомните моногибридное скрещивание, приводящее к уменьшению числа гетерозигот и увеличению числа гомозигот, с. 207.) В результате индивидуального отбора получают сорта, представляющие собой одну или несколько гомозиготных чистых линий. Однако и в чистых линиях происходят мутации, появляются гетерозиготные особи.

У сортов растений, размножающихся вегетативным путем, можно сохранить и размножить любую гетерозиготную форму, обладающую хозяйственно полезными признаками. При половом размножении свойства сортов, состоящих из гетерозиготных особей, не сохраняются и происходит их расщепление.

**Самоопыление перекрестноопыляемых растений. Явление гетерозиса.** Самоопыление ведет к повышению гомозиготности, что способствует закреплению наследственных свойств. Можно ли использовать этот метод при селекции перекрестноопыляемых растений для получения чистых линий, для закрепления у сорта нужных качеств? Еще Дарвину было хорошо известно, что самооплодотворение у растений и близко родственное скрещивание у животных происходит, но оно приводит к снижению жизнеспособности, уменьшению продуктивности, к вырождению.

Чем объясняется его неблагоприятное влияние? Одной из основных причин служит переход большинства генов в гомозиготное состояние. У организмов непрерывно осуществляется мутационный процесс. Большинство мутаций рецессивны и в значительной своей части вызывают неблагоприятные наследственные изменения (с. 232). У перекрестноопыляемых растений эти рецессивные мутации внешне не проявляются, так как находятся в гетерозиготном состоянии. При самоопылении они переходят в гомозиготное состояние и оказывают свое действие. У самоопыляющихся растений не происходит накопления рецессивных неблагоприятных мутаций, так как они быстро переходят в гомозиготное состояние и устраняются естественным отбором.

Несмотря на неблагоприятное влияние самоопыления, у перекрестноопыляемых растений его часто и успешно применяют

в селекции. Обычно сначала выводят гомозиготные линии, у которых закрепляются желательные признаки. Вместе с тем происходит резкое снижение урожайности. Затем проводят перекрестное опыление между разными самоопыляющимися линиями, в результате в ряде случаев появляются высокоурожайные гибриды. Такой прием получил название *межлинейной гибридизации*. Часто при этом проявляется эффект *гетерозиса*, или *гибридной силы*.

Сущность гетерозиса заключается в том, что первое гибридное поколение обладает повышенной урожайностью и жизнеспособностью. Однако уже начиная со второго поколения эффект гетерозиса обычно снижается.

Генетические основы гетерозиса еще недостаточно выяснены, однако, несомненно, положительную роль играет высокая гетерозиготность гибридов, связанная с проявлением повышенной физиологической активности.

Практически поступают следующим образом. Сначала создают большое число самоопыляющихся линий, затем проводят скрещивание между ними. Опытным путем выявляют те комбинации, которые дают наибольший эффект гетерозиса. Эти линии сохраняют, проводят между ними скрещивание для получения семян, которые используют в сельском хозяйстве. Хотя этот путь несколько сложен, тем не менее он дает высокие показатели.

**Эффективность отбора.** Отбор тем эффективнее, чем разнообразнее исходный материал. Увеличению разнообразия материала для селекции способствуют гибридизация, использование растений разного географического происхождения, повышение мутационной изменчивости действием различных внешних факторов (с. 234).

Скрещивание в сочетании с отбором — один из самых эффективных путей селекционной работы.

В тех случаях, когда наследственное разнообразие исходного материала невелико, отбор малоэффективен. Отбор в чистых линиях, являющихся гомозиготными по большинству генов, практически не дает результатов. Источником наследственных изменений в данном случае могут быть лишь мутации.

У самоопылителей отбор обычно бывает эффективен лишь до тех пор, пока из исходной неоднородной по наследственному составу популяции не будут выделены чистые линии. В дальнейшем он перестает действовать. Для изменения свойств линии осуществляют гибридизацию, которая ведет к появлению комбинативной изменчивости. Сорт становится неоднородным по составу генотипов, и отбор опять становится эффективным.

**Искусственный и естественный отбор в селекции растений.** Искусственный отбор на основе наследственной изменчивости служит основным средством изменения сорта и породы. Однако не следует забывать, что на сорт действует и естественный отбор.

При выращивании культурные растения (на полях, в питомниках и т. п.) подвергаются воздействию всего комплекса внешних факторов: температуры, влажности, освещения и др. Следовательно, естественный отбор действует одновременно с искусственным и повышает приспособленность растений к условиям среды. Вновь создаваемый сорт является всегда результатом двух одновременно действующих групп факторов: деятельности человека и естественного отбора.

**Полиплоидия.** Многие из культурных растений (по сравнению с родственными дикими видами) полиплоидны (с. 235). К их числу относятся пшеница, картофель, некоторые сорта сахарной свеклы, садовая земляника и др.

В генетике и селекции разработан ряд методов экспериментального получения полиплоидов. Многие полиплоиды по сравнению с исходными (диплоидными) формами обладают более высокой урожайностью. В Советском Союзе широкое распространение приобрели экспериментально полученные полиплоидные сахарная свекла и гречиха.

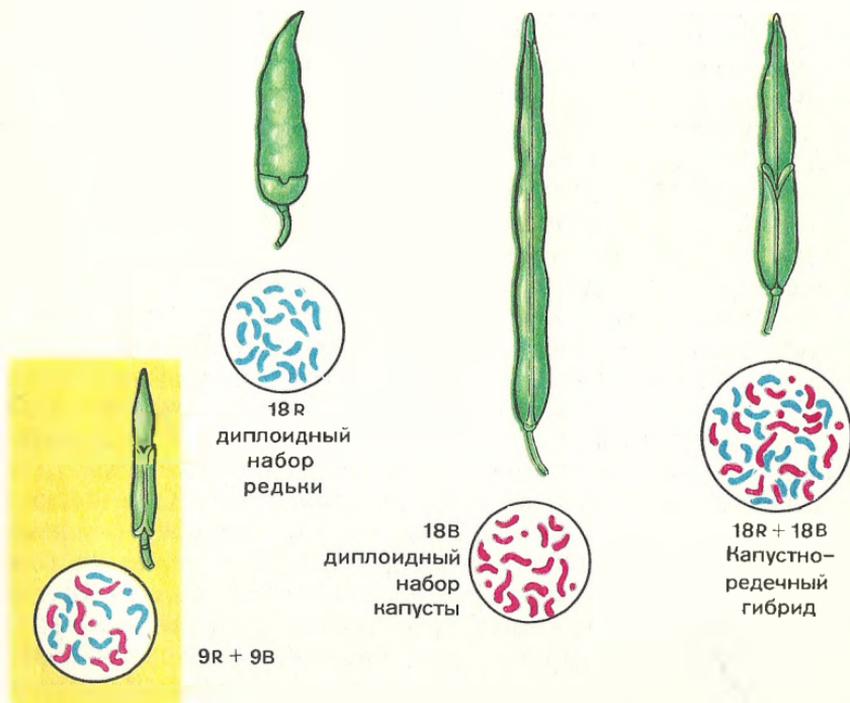
**Отдаленная гибридизация.** Для получения новых продуктивных форм культурных растений перспективна отдаленная гибридизация. Обычно скрещивание происходит в пределах вида. Но иногда возможно получение гибридов от скрещивания растений разных видов одного рода и даже разных родов. Так, существуют гибриды ржи и пшеницы, пшеницы и дикого злака эгилопс. Однако отдаленные гибриды обычно бесплодны.

Укажем основные причины бесплодия. У отдаленных гибридов обычно невозможен нормальный ход созревания половых клеток. Хромосомы обоих родительских видов растений настолько несхожи между собой, что они оказываются неспособными конъюгировать, в результате чего не происходит нормальной редукции их числа, нарушается процесс мейоза. Эти нарушения оказываются еще более значительными, когда скрещивающиеся виды отличаются по числу хромосом (например, диплоидное число хромосом ржи 14, мягкой пшеницы — 42).

**Преодоление бесплодия у межвидовых гибридов растений.** Одним из выдающихся достижений современной генетики и селекции явилась разработка способа преодоления бесплодия межвидовых гибридов, приводящая в некоторых случаях к получению нормально размножающихся гибридов. Впервые это удалось осуществить в 1924 г. советскому генетику Г. Д. Карпеченко при скрещивании редьки и капусты. Оба эти вида имеют (в диплоидном наборе) по 18 хромосом 22. Соответственно их гаметы несут по 9 хромосом (гаплоидный набор). Гибрид имеет 18 хромосом, но он совершенно бесплоден, так как «редечные» и «капустные» хромосомы в мейозе не конъюгируют друг с другом. Г. Д. Карпеченко удвоил число хромосом гибрида. В результате в гибридном организме оказалось 36 хромосом, слагающихся из двух полных диплоидных наборов редьки и капусты. Это создало

нормальные возможности для мейоза, так как каждая хромосома имела себе парную. «Капустные» хромосомы конъюгировали с «капустными», а «редечные» — с «редечными». Каждая гамета несла по одному гаплоидному набору редьки и капусты ( $9+9=18$ ). В зиготе вновь оказалось 36 хромосом. Таким образом, полученный межвидовой гибрид стал плодовитым. Гибрид не расщеплялся на родительские формы, так как хромосомы редьки и капусты всегда оказывались вместе. Это вновь созданное человеком растение не было похоже ни на редьку, ни на капусту. Стручки занимали как бы промежуточное положение и состояли из двух половинок, из которых одна напоминала стручок капусты, другая — редьки. Отдаленная гибридизация в сочетании с удвоением числа хромосом (полиплоидия) привела к восстановлению плодовитости.

**Результаты отдаленной гибридизации.** Существует немало культурных растений, созданных в результате отдаленной гибридизации. Например, в результате многолетних работ академика Н. В. Цицина и его сотрудников получены ценные сорта зерновых на основе гибридизации пшеницы с многолетним сорным растением пыреем. В результате гибридизации пшеницы с рожью, гибриды которых обычно бесплодны, получено новое культурное растение, названное тритикале (лат. *Triticum* — пшеница, *Secale* — рожь). Это растение очень перспективно как кормовая и зерновая



культура, дающая высокие урожаи и стойкая к неблагоприятным внешним факторам.

Отдаленная гибридизация широко применяется в плодоводстве.

1. Какие формы отбора применяют при селекции растений?
2. В чем положительные и отрицательные стороны самоопыления при селекции растений?
3. Что такое гетерозис и как он применяется в селекции?
4. Что такое полиплоидия? Какую роль играет она в создании культурных растений?
5. В чем причины бесплодия при отдаленной гибридизации?



## **67. Работы И. В. Мичурина. Достижения селекции растений в Советском Союзе**

**Работы И. В. Мичурина.** Иван Владимирович Мичурин, выдающийся русский ученый и селекционер, посвятил выведению новых сортов плодовых деревьев и других культурных растений 60 лет напряженного труда. Первые работы он начал еще в 70-х годах прошлого столетия в небольшом питомнике в городе Козлове (ныне Мичуринск) бывшей Тамбовской губернии.

Широко развернуть исследования И. В. Мичурин смог лишь после Октябрьской революции, когда его питомник был превращен в большое государственное учреждение.

И. В. Мичурин не сразу пришел к тем методам и взглядам, которые привели к большим успехам. В начале своей деятельности он потратил много сил на опыты по акклиматизации (приучению) южных сортов к суровому, с холодными зимами, климату Тамбовской губернии. Эти попытки оказались безуспешными. Южные сорта зимой вымерзали. Убедившись в бесплодности метода простой акклиматизации, И. В. Мичурин приступил к разработке новых методов селекции.

В основе работ И. В. Мичурина лежит сочетание трех основных методов: гибридизации, отбора и воздействия условиями среды на развивающиеся гибриды (их «воспитание» в желательном направлении).

Большое внимание И. В. Мичурин уделял подбору исходных родительских форм для гибридизации. Он скрещивал местные морозостойкие сорта с лучшими южными, полученные сеянцы подвергал строгому отбору и содержал в относительно суровых условиях, не давая им тучной почвы. И. В. Мичурин указывал на возможность управлять доминированием признаков при развитии гибрида (с. 230). Воздействие внешних факторов на доминирование эффективно лишь на ранних стадиях развития гибрида. К числу сортов, полученных этим методом, относится, например, яблоня Славянка, выведенная в результате гибридизации Антоновки с южным сортом Ранетом ананасным.

Особое значение И. В. Мичурин придавал скрещиванию географически удаленных форм, не произрастающих в той местности, где осуществляется гибридизация. Этим путем И. В. Мичурин создал ряд сортов плодовых деревьев. К числу их относится сорт яблони Бельфлер-китайка, полученный в результате гибридизации китайской яблони из Сибири и американского сорта Бельфлера желтого. Китайка характеризуется выносливостью к морозам и стойкостью к болезням, Бельфлер — замечательными вкусовыми качествами плодов. Известный сорт груши Бере зимняя Мичурина был получен в результате гибридизации дикой уссурийской груши и южного французского сорта Берероль.

Среди методов «воспитания» гибридов, которые разработал И. В. Мичурин, следует указать на метод ментора. Сущность его в том, что признаки развивающегося гибрида изменяются под влиянием привоя или подвоя. Метод этот Мичурин применял в двух вариантах. В первом случае гибридный сеянец служил привоем и его прививали на взрослое плодоносящее растение (подвой), в направлении свойств которого желательно было изменить свойства гибрида. Во втором случае в крону молодого гибридного сеянца, который в данном случае служил подвоем, прививали черенок от того сорта, признаки которого желательно было получить у гибрида.

Метод ментора был применен И. В. Мичуриным, например, при создании сорта яблони Бельфлер-китайка. В первый год плодоношения гибридов оказалось, что плоды у них мелкие и кислые. Чтобы направить дальнейшее развитие гибрида в желательную сторону, в крону молодых деревьев были привиты черенки Бельфлера. Под влиянием черенков плоды гибрида в последующем стали приобретать вкусовые качества Бельфлера. Влияние ментора следует рассматривать как изменение доминирования в процессе развития гибрида. В данном случае ментор способствовал фенотипическому проявлению (доминированию) генов, полученных от сорта Бельфлер, не меняя при этом генотипа гибрида.

В своей работе И. В. Мичурин применял и отдаленную гибридизацию — скрещивание особей разных видов и даже родов — и получил таким образом гибриды ежевики и малины, сливы и терна, рябины и сибирского боярышника и др.

Большинство сортов, полученных И. В. Мичуриным, представляло собой сложные гетерозиготы. Для сохранения качеств их размножают вегетативным путем: отводками, прививками и т. д.

**Достижения советской селекции последних лет.** Селекционная работа имеет огромное народнохозяйственное значение. Замена малоурожайных сортов высокопродуктивными селекционными сортами представляет собой один из основных путей поднятия урожайности. В настоящее время как в нашей стране, так и

за рубежом селекционно-генетическая работа протекает интенсивно и приводит к замечательным результатам. Происходит, как говорят, «зеленая революция».

Познакомимся с некоторыми последними достижениями селекции по основным сельскохозяйственным культурам.

Для Советского Союза основной зерновой культурой является пшеница. Академик П. П. Лукьяненко создал ряд высокоурожайных сортов озимой пшеницы, занимающих миллионы гектаров как в СССР, так и в других странах. Особенной известностью пользуется пшеница Безостая 1, дающая урожай до 50 ц/га. Работы по селекции пшеницы продолжаются, и уже созданы новые сорта (Аврора, Кавказ), урожайность которых приближается к 100 ц/га. Не менее высокоурожайные сорта выведены и академиком В. В. Ремесло: Мироновская 264, Мироновская 808 и др. За последние 30 лет урожайность сортов озимой пшеницы возросла с 25 до 65 ц/га, т. е. в 2,5 раза. Среди новых высокоурожайных сортов озимой пшеницы, выведенных на Мироновской селекционной опытной станции, следует назвать еще Ильичевку. Сорт этот районирован в 1974 г. в 15 областях Украины. При орошении и высокой агротехнике она дает до 100 ц/га.

Подсчитано, что благодаря возделыванию Мироновской 808 в девятой пятилетке было дополнительно получено 10,3 млн т зерна стоимостью 800 млн. рублей. Вот что дают новые высокопродуктивные сорта народному хозяйству!

Среди новых сортов очень перспективны многолетние пшеницы, выведенные под руководством академика Н. В. Цицина на основе межвидовой гибридизации пшеницы и пырея. Они высокоурожайны, засухоустойчивы, выдерживают морозы до  $-35^{\circ}\text{C}$ .

Велики успехи и по выведению сортов яровой пшеницы. Особенно ценна созданная А. П. Шехурдиным и В. Н. Мамонтовой высокоурожайная Саратовская 29, выделяющаяся высокими хлебопекарными качествами. Замечательны достижения академика В. С. Пустовойта по селекции подсолнечника. Лучшие сорта подсолнечника 25—30 лет назад по масличности не превышали 32—33%. В настоящее время средняя масличность семян достигает 49—50%. В масштабах СССР это дает дополнительно тысячи тонн растительного масла.

Велики успехи советских селекционеров и по созданию других сельскохозяйственных культур. За последние годы резко повысились сахаристость и урожайность сахарной свеклы. Большую роль в селекции этой культуры сыграла полиплоидия (работы А. Н. Луткова, В. П. Зосимовича). Хорошие успехи достигнуты в селекции кукурузы, при создании новых сортов которой применяют самоопыляющиеся гомозиготные линии (с. 248) с их последующей гибридизацией (М. И. Хаджинов). Ведется большая селекционная работа и с плодово-ягодными культурами.

Высокоурожайные сорта люцерны выведены на Украине (в Институте орошаемого земледелия). Они дают большой урожай зеленой массы с 7—8 разовым выкашиванием за один вегетационный сезон.

Важны результаты селекции различных технических культур. Так, выведенный в Узбекистане тонковолокнистый сорт хлопчатника АН-402 характеризуется высокой урожайностью, устойчивостью к грибковым заболеваниям, а также к недостатку влаги.

Генетика и селекция далеко еще не исчерпали всех возможностей повышения урожайности культурных растений. В этом направлении ведется большая работа и в ближайшие годы можно ждать больших успехов.

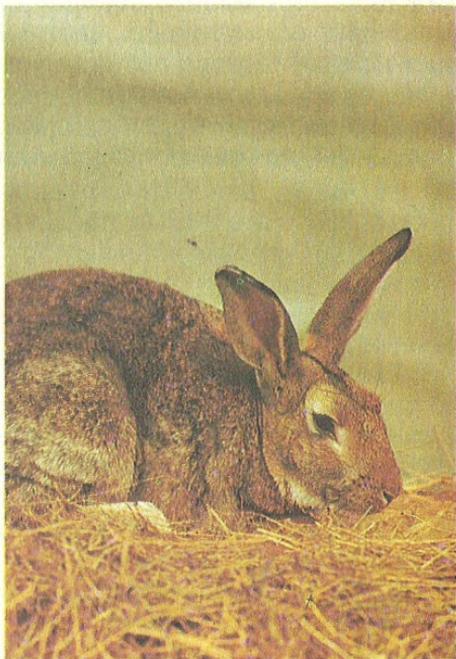
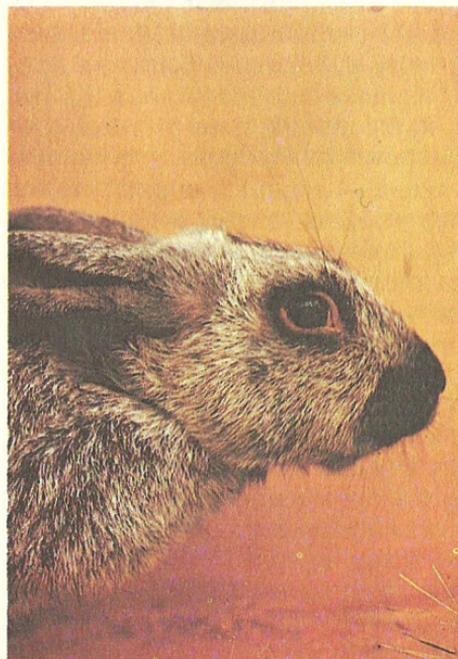
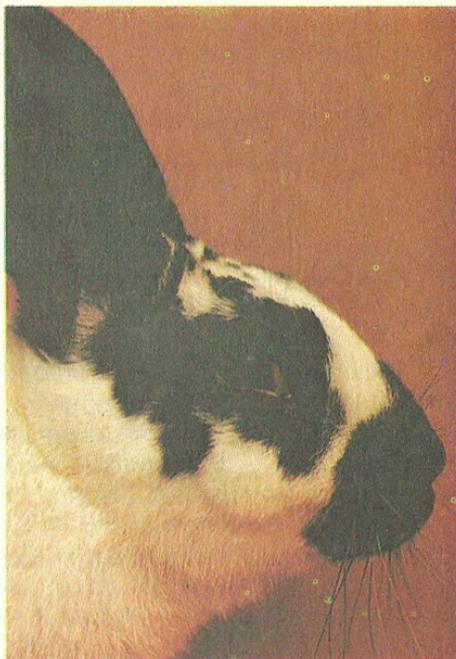
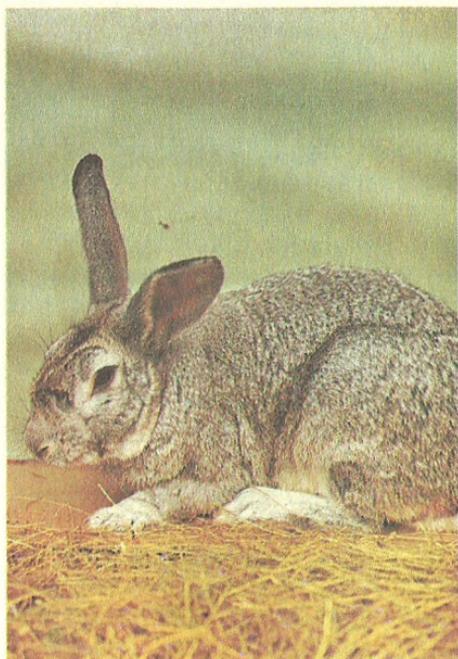
- ?** 1. Перечислите основные методы работы И. В. Мичурина по созданию новых урожайных форм плодовых и плодово-ягодных культур. 2. Какими основными принципами руководствовался И. В. Мичурин при воспитании гибридов? Какими путями можно, изменяя внешние условия, изменять характер доминирования признака? 3. Почему при вегетативном размножении не наблюдается расщепление признаков в потомстве гибридов? 4. Какие вам известны высокоурожайные сорта зерновых культур, подсолнечника? 5. Какие сорта зерновых районированы в вашей местности?

## 68. Селекция животных

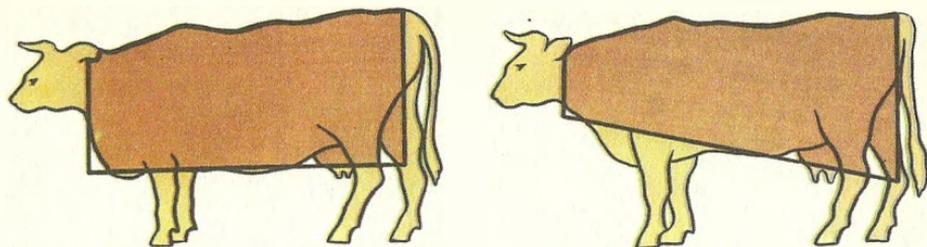
**Особенности селекции животных.** В основе селекции животных, как и растений, лежат наследственная изменчивость и отбор, протекающие в определенных условиях среды, наиболее благоприятствующих фенотипическому проявлению желательных признаков. Однако селекция животных имеет и некоторые особенности, вытекающие из самой природы организма животного: у животных существует только половое размножение; у животных потомство немногочисленно и каждая отдельная особь представляет значительную ценность.

При селекционной работе с животными важное значение приобретает учет экстерьерных признаков. Под экстерьером понимают всю совокупность наружных форм животных, их телосложение, соотношение частей тела (рис. 123).

Организм представляет собой целостную систему, в которой все органы связаны друг с другом. Развитие многих хозяйственно важных признаков, например молочности, у крупного рогатого скота относительно связано с определенным телосложением, хорошим развитием кровеносной и дыхательной систем и т. п. При селекционной работе с животными очень важно учитывать связи между разными признаками, так как высокая продуктивность по тому или иному признаку связана с определенными экстерьерными особенностями. На рисунке 124 отчетливо видны различия экстерьера между двумя породами крупного рогатого скота: шортгорнской (мясная) и джерсейской (молочная).



123. В результате селекции созданы новые породы кроликов.  
Слева направо: шиншилла, бабочка, серебристый, великан.



124. Мясное (слева) и молочное (справа) направления в селекции крупного рогатого скота.

Разные породы неодинаково реагируют на изменение внешних условий, кормление. Например, у мясных пород крупного рогатого скота улучшение питания прежде всего сказывается на увеличении массы, у молочных — на увеличении удоя. Яйценоские куры леггорн на улучшение рациона отвечают повышением яйценоскости, почти не меняя массы.

**Приручение животных — первый этап селекции.** Все домашние животные происходят от диких предков (с. 23). 10—12 тыс. лет до н. э. человек начал приручать животных. Основные виды домашних животных были приручены лишь 5—6 тыс. лет назад.

Приручение значительно ослабило действие стабилизирующей формы естественного отбора (с. 242), что привело к резкому повышению изменчивости, которая была использована человеком для искусственного отбора нужных ему признаков. Влияние приручения на изменчивость подробно изучено академиком Д. К. Беляевым на животных, которые в наше время еще только приручаются человеком и проходят первые этапы этого процесса. К их числу относятся пушные звери — лисица, норка, песец, соболь. Эти животные представляют объект вновь возникшей и энергично развивающейся отрасли хозяйства — звероводства.

Исследования показывают, что географические области приручения животных в значительной мере совпадают с центрами многообразия и происхождения культурных растений (с. 245).

**Типы скрещивания и методы разведения в животноводстве.** В селекционной работе важно представить себе конечную цель, к которой стремится селекционер. Желательно ли увеличить молочную продукцию, повысить жирномолочность или изменить мясные качества скота — все это требует разных направлений отбора и подбора производителей, применения различных систем скрещивания.

В подборе производителей важно учитывать их родословные. В племенных хозяйствах всегда ведутся племенные книги, в которых подробно учитываются экстерьерные особенности и продуктивность родительских форм в течение ряда поколений. По признакам предков можно судить с известной вероятностью о генотипе производителей.

Типы скрещивания при селекционной работе с животными разнообразны. Применяют в основном два типа скрещивания: неродственное и родственное.

Неродственное скрещивание между особями одной породы или между особями разных пород животных при строгом отборе приводит к поддержанию свойств или улучшению их в ряду следующих поколений гибридов.

При близкородственном скрещивании в качестве исходных форм используются братья и сестры или родители и потомство. Этот тип скрещивания применяют в тех случаях, когда желают перевести большинство генов породы в гомозиготное состояние. Такое скрещивание до известной степени аналогично самоопылению у растений, так как приводит к повышению гомозиготности (с. 209). При этом происходит закрепление хозяйственно ценных признаков, которые сохраняются у потомства, так как оно гомозиготно по этим признакам.

При близкородственном скрещивании часто наблюдается ослабление животных, потеря устойчивости к действию внешних факторов, к заболеваниям. Все эти отрицательные проявления близкородственного скрещивания называются депрессией.

Чтобы этого избежать, родственное скрещивание должно сопровождаться строгим отбором особей, обладающих нужными хозяйственными признаками.

При селекционной работе родственное скрещивание обычно является лишь одним из этапов улучшения породы. За ним следует скрещивание разных линий, полученных в результате близкородственного скрещивания. Таким путем неблагоприятно действующие рецессивные гены переводятся в гетерозиготное состояние и вредное действие близкородственного скрещивания снижается.

**Гетерозис у домашних животных.** Так же как и у растений, у домашних животных наблюдается явление *гибридной силы*, или *гетерозиса* (с. 250). Оно заключается в том, что при скрещивании разных пород (а также при межвидовых скрещиваниях) иногда в первом поколении гибридов наблюдается особенно мощное развитие и повышение жизнеспособности. Это свойство, однако, не сохраняется в последующих поколениях и затухает.

Гетерозис широко применяют в животноводстве и птицеводстве, так как первое поколение гибридов, обнаруживающее явление гибридной силы, непосредственно используют в хозяйственных целях. Например, для получения скороспелых свиней (на мясо и сало) скрещивают дюрокджерсейскую и беркширскую породы.

**Испытание производителей по потомству.** При селекции домашних животных очень важно определить наследственные качества самцов по признакам, которые непосредственно у них не проявляются, например по молочности и жирномолочности у быков или яйценоскости у петухов. Для этого используют ме-

тод определения качества производителей по потомству. Сначала от производителей получают относительно немногочисленное потомство и сравнивают его продуктивность с матерями и со средней продуктивностью породы. Если продуктивность дочерей оказывается повышенной, то это указывает на большую ценность производителя, которого следует использовать для дальнейшего улучшения породы. От хорошего самца можно получить большое потомство, особенно если применить искусственное осеменение.

Метод испытания по потомству применяют в племенной селекционной работе с животными.

- ?** 1. Каковы особенности селекции животных по сравнению с селекцией растений? 2. Как влияет приручение на изменчивость животных? 3. С какой целью применяют близкородственное скрещивание и каковы его положительные и отрицательные стороны? 4. Для чего проводят испытания производителей по потомству?

## **69. Создание высокопродуктивных пород животных. Селекция микроорганизмов. Биотехнология**

**Породы, полученные на основе межпородного скрещивания.** Советский ученый, академик М. Ф. Иванов создал высокопродуктивную породу свиней — белую степную украинскую свинью. Работы эти проводились на юге Украины — в Аскании-Нова, в Институте акклиматизации и гибридизации животных.

Завезенные на Украину высокопродуктивные белые английские свиньи в условиях юга УССР оказались малоприспособленными к климату. Местная беспородная украинская свинья отличалась выносливостью, хорошей плодовитостью, неприхотливостью, но обладала плохими мясными качествами.

Как исходный материал М. Ф. Иванов взял маток местной породы, которых скрестил с хряками белой английской породы. Из числа полученных гибридов несколько маток вновь были скрещены с чистопородным хряком английской породы. Среди полученных животных был выделен один хряк — Асканий-1, особо отличавшийся положительными качествами. В его потомстве было применено близкородственное скрещивание, которое привело к выравниванию и закреплению признаков создаваемой породы (быстрый рост, большая масса, высокие качества мяса и др.). По ходу этих близкородственных скрещиваний все время применялся самый строгий отбор. Наряду с линией, бравшей начало от Аскания-1, аналогичным методом были созданы другие линии. В дальнейшем была проведена гибридизация между линиями, также сопровождавшаяся жестким отбором. Этим путем была создана высокопродуктивная, хорошо приспособленная к местным условиям группа животных, которая положила начало новой породе.

М. Ф. Иванов создал и другие высокопродуктивные породы домашних животных, например асканийский рамбулье — порода овец с очень высоким настригом первоклассной шерсти.

Высокой молочной продуктивностью характеризуется костромская порода крупного рогатого скота, которая создана на основе местного поголовья путем строгого отбора и подбора производителей. Молочная продуктивность этой породы достигает 15—16 тыс. л молока в год.

**Отдаленная гибридизация домашних животных.** Отдаленную гибридизацию применяют не только в растениеводстве, но и в животноводстве. Так же как и у растений, межвидовые гибриды животных часто бывают бесплодными. Восстановление плодовитости представляет здесь более сложную задачу, так как получение полиплоидов на основе удвоения числа хромосом у животных невозможно. В некоторых межвидовых скрещиваниях оба или один пол оказывается плодовитым, и в этих случаях гибриды могут быть использованы для получения новых форм домашних животных. Однако и в тех случаях, когда потомство, полученное в результате отдаленной гибридизации, оказывается бесплодным, оно может иметь очень важное значение для практики. С глубокой древности человек использует мула (гибрид кобылицы с ослом). Мулы обнаруживают гетерозис: они выносливы, обладают большой физической силой, по продолжительности жизни значительно превосходят родительские виды. Мулы бесплодны. Гетерозис проявляется также при скрещивании двугорбого и одногорбого верблюдов.

В Советском Союзе проводится большая работа по межвидовой гибридизации животных. Успешно завершилось создание Я. Я. Лусисом и Н. С. Бутариным породы овец в Казахстане на основе гибридизации тонкорунных овец с диким горным бараном архаром. Создана новая порода тонкорунных овец — архаромеринос [125]. Стада их круглогодично пасутся на высокогорных пастбищах в таких условиях, при которых не могут существовать тонкорунные овцы — мериносы.

Большая работа ведется по гибридизации яка с крупным рогатым скотом. Як — это домашнее животное высокогорных районов Средней Азии. Он используется как рабочий скот в высокогорных условиях [125] дает небольшое количество молока очень высокой жирности. Мясо его грубое. У гибридов яка и рогатого скота проявляется гетерозис, и их уже давно используют в практике. Их мясные и молочные качества выше, чем у яка. У гибридов яка с рогатым скотом бесплодны самцы, самки же плодовиты. Это дает возможность путем скрещивания с исходными видами вести работы по созданию новой породы скота, приспособленной к горным условиям Средней Азии.

В различных районах СССР созданы ценные породы по всем ведущим сельскохозяйственным животным (10 пород крупного рогатого скота, 15 свиней, 11 лошадей, 20 овец, 20 кур).



125. Архаромеринос (справа) и як (слева).

**Селекция в рыбоводстве.** В народном хозяйстве Советского Союза немалую роль может сыграть искусственное разведение рыбы во внутренних водоемах. Одним из путей осуществления этой важной задачи является создание на основе селекции высокопродуктивных, быстрорастущих, обладающих высокими вкусовыми качествами пород рыб. Эта работа ведется в нашей стране в широких масштабах. При этом применяются внутривидовые межпородные, а также межвидовые и даже межродовые скрещивания с последующим отбором. В качестве примера укажем на высокопродуктивного ропшинского карпа (от названия поселка Ропша под Ленинградом), обладающего высокой продуктивностью и зимостойкостью (выведен В. С. Кирпичниковым), украинские породы карпа (А. И. Кузема и др.). Весьма перспективны межродовые гибриды стерляди и белуги (называемые «бестер»), которые обладают высоким темпом роста (гетерозис) и прекрасными вкусовыми качествами.

**Селекция микроорганизмов.** Микроорганизмы играют важную роль в жизни человека. Многие из них создают вещества, используемые в разных областях промышленности и медицины. Такие отрасли пищевой промышленности, как хлебопечение, производство спирта, некоторых органических кислот, виноделие и многие другие, основаны на деятельности микроорганизмов.

Исключительно большое значение для здоровья человека имеют антибиотики. Это особые вещества — продукты жизнедеятельности некоторых микробов и грибов, убивающие болезнетворные микробы и вирусы. Благодаря антибиотикам многие болезни излечиваются относительно легко, тогда как ранее они давали большой процент смертности. Витамины, столь необходимые для человека, вырабатываются растениями и некоторыми микроорганизмами.

Для получения наиболее продуктивных форм микроорганизмов широко применяют методы селекции. Путем отбора выделяют расы микроорганизмов, наиболее активно синтезирующие тот или иной используемый человеком продукт (антибиотик, витамин и др.). Микроорганизмам свойственна наследственная изменчивость (мутации). Путем отбора их получают наиболее активные расы.

Для получения высокопродуктивных форм микроорганизмов особенно широко используют метод экспериментального получения мутаций действием лучей Рентгена, ультрафиолетовых лучей и некоторых химических соединений. Таким путем удается повысить наследственную изменчивость микроорганизмов в десятки и сотни раз, что облегчает и ускоряет процесс отбора высокопродуктивных рас. Особенно велики успехи в промышленности антибиотиков. Советские ученые (С. И. Алиханян и др.) получили мутации микроорганизмов, обладающих в десятки раз более высоким выходом антибиотиков, чем исходные культуры.

Селекция находит широкое применение и в отношении микроорганизмов, используемых в пищевой промышленности. Например, дрожжевые грибки, вызывающие брожение теста, обладают разными свойствами. Путем селекции выделяют наиболее продуктивные формы, повышающие качество хлеба.

Мутации происходят и у болезнетворных микроорганизмов и вирусов, вызывающих заболевания человека. Иногда они приводят к повышению вредоносного действия микроба, что может иметь тяжелые последствия для человека.

**Биотехнология.** Биотехнологией называют основанное на самом совершенном биологическом процессе производство необходимых для человека веществ. Здесь комплексно используют высшие достижения микробиологии, биохимии, инженерных наук.

В биотехнологических процессах широко применяют микроорганизмы (бактерии, нитчатые грибы, актиномицеты, дрожжи). В огромных биореакторах (ферментерах) на специально подобранных питательных средах они нарабатывают белок, лекарственные препараты, ферменты и др.

Большую роль играют микроорганизмы в обеспечении животноводства полноценными кормовыми белками. На отходах нефтяной промышленности, а также на метаноле, этаноле, метане растут бактерии и дрожжи. Они создают большую массу белка, используемого как полноценные кормовые добавки. Этот белок богат незаменимой аминокислотой лизином, которого часто не хватает в растительной пище, вследствие чего задерживается рост животных.

Большое значение в биотехнологии приобретают методы, получившие название *клеточной инженерии*. Предварительно клетки искусственно выделяют из организма и переносят на специально созданные питательные среды, где они в стерильных условиях продолжают жить и размножаться. Такие клеточные культуры (или культура тканей) могут служить для продукции ценных веществ 126. Например, культура клеток растения женьшень продуцирует лекарственное вещество, как и целое растение.

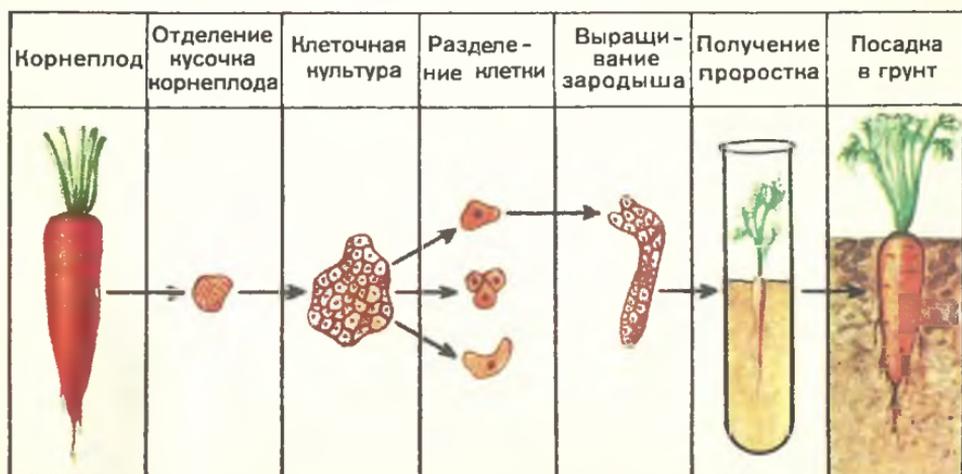
Клеточные культуры используют и для гибридизации клеток. Применяя некоторые специальные приемы, можно объединить клетки разного происхождения от организмов, обычная гибри-

дизация которых половым путем невозможна. Метод клеточной инженерии открывает принципиально новый способ создания гибридов на основе соединения в единую систему не половых, а соматических клеток. Уже получены гибридные клетки и организмы картофеля и томатов, яблоны и вишни и некоторые другие. Открываются огромные перспективы для создания человеком новых форм культурных растений.

У животных получение гибридных клеток также открывает новые перспективы, главным образом для медицины. Например, в культуре получены гибриды между раковыми клетками (обладающими способностью к неограниченному росту) и некоторыми клетками крови — лимфоцитами. Последние вырабатывают вещества, обуславливающие иммунитет (невосприимчивость) к инфекционным, в том числе вирусным, заболеваниям. Используя такие гибридные клетки, можно получать ценные лекарственные вещества, повышающие устойчивость организма к инфекциям.

В биотехнологии широко применяют метод *генной (генетической) инженерии*. Успехи молекулярной биологии и генетики открывают широкие перспективы управления основными жизненными процессами путем перестройки генотипа. Исследованиями по перестройке генотипа занимается генная инженерия. Методы ее очень сложны. Сущность некоторых из них сводится к тому, что в генотип организма встраиваются или исключаются из него отдельные гены или группы генов. Такие эксперименты проводятся преимущественно на прокариотных организмах (бактериях) и вирусах, но имеются уже некоторые данные, показывающие возможность применения методов генетической инженерии и на эукариотных организмах.

В результате встраивания в генотип ранее отсутствовавшие-



126. Получение растения методом культуры ткани.

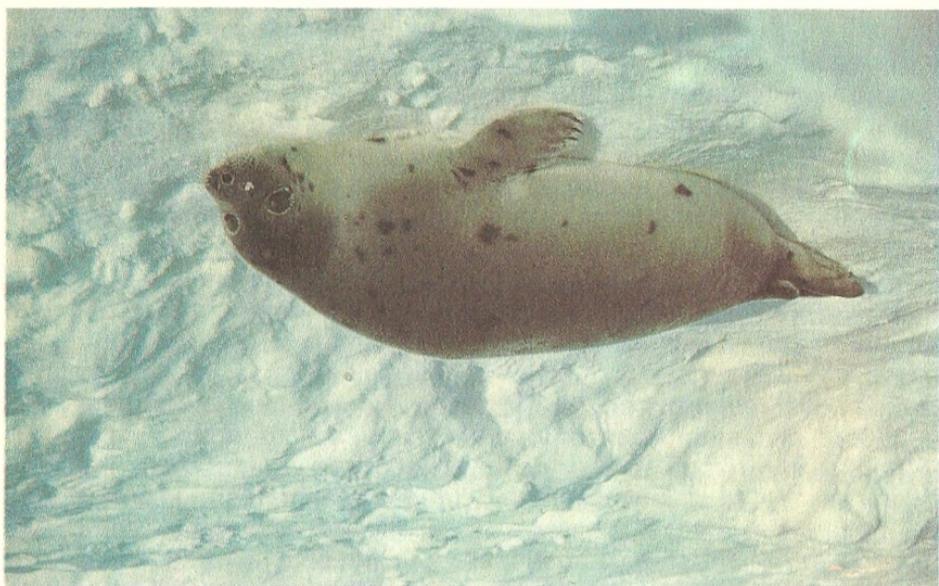
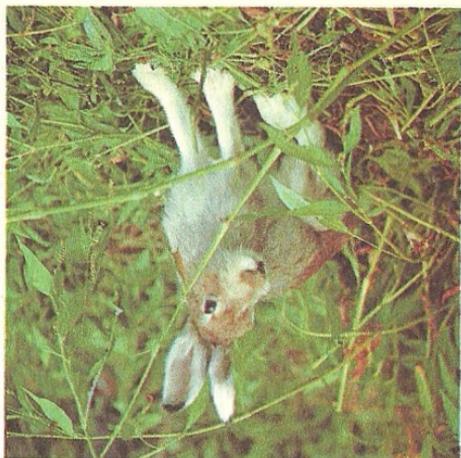
го гена можно заставить клетку синтезировать белки, которые она раньше не синтезировала. Например, в генотип бактерии кишечной палочки удалось ввести ген из генотипа человека, контролирующей синтез инсулина — гормона в углеводном обмене. Инсулин широко используется в медицине при лечении нарушений функции поджелудочной железы (диабет). В настоящее время промышленный синтез инсулина будет осуществляться при посредстве кишечной палочки с встроенным геном инсулина.

Хорошо известно, какое огромное значение для урожайности сельскохозяйственных культур имеют неорганические соединения азота. Существуют некоторые виды бактерий, обладающих замечательной способностью фиксировать атмосферный азот, переводя его в связанный азот почвы. Поставлена задача — гены, контролирующие фиксацию атмосферного азота, ввести в генотип почвенных бактерий, которые не имеют этих генов. Решение задачи будет иметь первостепенное значение для растениеводства, совершенно по-новому встанет вопрос об удобрении почв.

Значение биотехнологии огромно, поскольку с ее помощью решаются серьезные проблемы. На базе микробиологии родилась и быстро развивается целая отрасль — микробиологическая промышленность. Активно участвуя в решении продовольственных проблем в СССР, она выпускает средства интенсификации сельского хозяйства: высокоэффективные кормовые добавки и препараты (кормовые дрожжи, незаменимые аминокислоты, витамины, ферменты, кормовые и ветеринарные антибиотики). налажен выпуск микробиологических средств защиты растений от вредителей и болезней, бактериальных удобрений, а также препаратов для нужд пищевой, текстильной, химической и других отраслей промышленности и для научных целей.

1. Как используют родственное скрещивание в селекции животных?
2. Приведите примеры отдаленных гибридов у животных.
3. Какую роль играет селекция микроорганизмов?
4. Какие перспективы для практической деятельности человека открывают методы биотехнологии?





## Глава X

# Эволюция биосферы. Нарушение природных закономерностей в результате деятельности человека

## 70. Биосфера и научно-технический прогресс

Многочисленные виды организмов, населяющие нашу планету, как показано в предыдущих главах учебника, существуют не изолированно. Они находятся во взаимодействии не только между собой, но и с компонентами неживой природы. На основе этих взаимодействий создаются разной сложности экосистемы (биогеоценозы), осуществляется круговорот веществ. Высшей экосистемой, объединяющей различной сложности биогеоценозы, является биосфера. Она возникла вместе с первым появлением жизни на планете Земля. Человечество тоже возникло в биосфере, как один из этапов развития жизни. Однако в отличие от других организмов человек стал активно воздействовать на биосферу через трудовую деятельность. По мере развития человеческого общества это воздействие становилось все более активным. Человек стал мощным фактором, преобразующим биосферу.

В настоящей главе мы рассмотрим взаимоотношения человека и биосферы и влияние на биосферу научно-технического прогресса.

**Роль организмов в эволюции биосферы.** Образование биосферы, расширение ее границ, изменение состава, ускорение биогенной миграции атомов осуществлялось наряду с возникновением жизни и эволюцией органического мира.

Живые организмы с момента своего возникновения в процессе жизнедеятельности постоянно изменяли окружающую среду.

В результате жизнедеятельности хемосинтезирующих бактерий более 3 млрд. лет назад началось отложение некоторых марганцевых и железных руд, фосфоритов, серы. Первые микроорганизмы — пурпурные и зеленые бактерии, а затем сине-зеленые водоросли стали усваивать углекислый газ и выделять молекулярный кислород, из которого над Землей образовался озоновый экран. Образование озонового экрана создало защиту от

ультрафиолетовых излучений Солнца, губительных для живого вещества, и позволило жизни выйти из воды и распространиться на суше.

В течение длительного времени зеленое живое вещество поглотило из атмосферы громадное количество углекислого газа, которого в древнейшее время было в сотни раз больше, чем теперь, и одновременно обогатило ее кислородом. В водной среде только при наличии бактерий и водорослей мог появиться зоопланктон. Известковые скелеты беспозвоночных — корненожек, кораллов, моллюсков — образовали осадочные породы (мел, известняк). Отмирание сине-зеленых и красных водорослей способствовало отложению кальция. Некоторые виды водорослей и губок обусловили накопление кремнезема. Каменный уголь образовался из растительных остатков, нефть — из планктона древних морей и других водоемов.

Колоссальная размножаемость организмов увеличивала биомассу, которая распространялась по лику Земли, заполняя образуемую ею же биосферу. На Земле в разных средах в процессе эволюции образовывались самые различные биогеоценозы, находящиеся в постоянном взаимодействии друг с другом. Организмам для существования были необходимы определенные условия внешней среды, которую они в процессе обмена веществ постоянно изменяли. При этом увеличивалась биогенная миграция химических элементов биосферы. Живое вещество осуществляет обмен газов, концентрирует рассеянные элементы, способствует окислительным и восстановительным реакциям. Функции живого вещества (газовая, концентрационная, окислительно-восстановительная) и процесс эволюции обусловили создание современной природной среды.

В процессе эволюции живые организмы обособлялись от непосредственной зависимости от среды. Первые организмы (бактерии, водоросли) были как бы погружены в питательную среду.

Постепенно появились многоклеточные организмы, менее зависимые от изменения внешней среды и имеющие свою внутреннюю среду. Эти многоклеточные организмы обладают системами органов, регулируемыми жизненными процессами: питание и пищеварение, газообмен и циркуляцию питательных веществ. Через нервную систему осуществляется связь организма с внешней средой. Именно развитие нервной системы, мозга животных способствовало их ориентации, передвижению в пространстве и возникновению сложных форм поведения. По мере эволюции возрастала скорость передачи (миграции) вещества и энергии в живой природе в образовавшихся биогеоценозах.

Значительные изменения претерпела биосфера после появления человека на Земле. Бурное развитие промышленности, науки и техники за геологически ничтожно малый отрезок времени способствовало значительному ускорению биогенной миграции

элементов в биосфере. Человек создал десятки тысяч новых сортов растений и пород животных, своей деятельностью он прямо или косвенно ускоряет эволюцию видов в природе, изменяет органический мир и природную среду.

**Нарушение человеком природных закономерностей.** Всемирная история свидетельствует о том, что человечество не всегда разумно использовало находящиеся в его распоряжении виды энергии. Оно вело опустошительные войны, неправильно и порой преступно относилось к природе. Не зная многих закономерностей природы, нарушая их, человек часто не представляет губительных последствий своей «победы» над природой. «Не будем, однако, слишком обольщаться нашими победами над природой. За каждую такую победу она нам мстит» (Ф. Энгельс).

Многие государства древнего мира потеряли свое могущество, а иные (Хорезм, некоторые государства Северной Африки) совсем исчезли в результате хищнического отношения к почве. Истощение почв превращает страну в пустыню. Истребление лесов вызывает иссушение, распыление и эрозию почв. Лес задерживает ветры и испарением воды смягчает климат. Вместе с тем лес замедляет таяние снега, и талая вода постепенно увлажняет поля, восполняет грунтовые воды. Вследствие этого в реках сохраняется постоянный уровень воды и весной не бывает наводнений. Особенно нужны леса в горах. Переплетенные корни деревьев предохраняют почву от размыва, задерживают потоки, препятствуют образованию оврагов.

Истребление лесов привело к тому, что, например, во Франции в XVIII в. было 17 млн. га леса, в XIX в. осталось 8 млн. га. Сжигающий поля ветер сирокко распространился в Италии в результате уничтожения лесов в Апеннингах. В последние годы уничтожаются наиболее ценные тропические леса. В Латинской Америке уже уничтожено  $\frac{2}{3}$ , в Африке —  $\frac{1}{2}$  девственных лесов. За 30 лет Земля лишилась почти половины лесов, ежегодно теряя 10—20 млн. га. Последствия истребления лесов — наводнения, сели (грязевые потоки с гор), эрозия, смыв почвы и иссушение ее, изменение климата — сказываются во всех странах.

Односторонне осуществляемые изменения в природе приводят к отрицательным последствиям. Устройство водоемов повышает уровень грунтовых вод и вызывает гибель окружающих лесов. Осушение верховых болот ведет к обмелению рек и засыханию лесов.

С давних времен в России леса имели большое оборонное значение. И в Великую Отечественную войну они служили прикрытием партизанам.

Деятельность человека приводит к сокращению запасов чистой воды. Промышленные предприятия, используя воду, иногда спускают в реки и озера отходы, ядовитые и вредные для растений, животных и человека. По этой причине во многих водоемах не всегда могут жить рыбы и растения. При устройстве плотин

на реках часто не учитывают того, что уже миллионы лет против течения рек к их истокам идут косяки ценных видов рыб на нерест. В результате прекращается воспроизводство рыбы.

Заводы, фабрики, автомобили, самолеты задымляют атмосферу, поглощают большое количество кислорода и выделяют вредные газы. При использовании атомной энергии в биосферу попадают радиоактивные излучения.

Урбанизация и добыча полезных ископаемых сокращают площадь лугов и лесов, восстанавливающих соотношение кислорода и углекислого газа в воздухе.

Промышленные отвалы (шлаки, золы и т. п.) и отвалы при добыче полезных ископаемых занимают территорию в несколько миллионов гектаров. Отходы производств вводят в миграцию вредные соединения, отравляя воздух, воду, почву. Загрязненные воды рек, впадая в море, отравляют его животный и растительный мир. Тонкая пленка нефти от транспорта, покрывающая поверхность океана, вызывает гибель планктона, и тем нарушается газообмен с атмосферой, в нее поступает меньше кислорода.

Испытание атомных бомб и безответственное отношение к отходам производств, основанных на использовании атомной энергии, приводят к повышенной радиоактивности воздуха, вод и почв. Радиоактивность передается по цепям питания как в океане, так и на суше. Радиоактивность в первую очередь поражает планктон и животных обитателей дна, от планктона по пищевым цепям передается ряду рыб. Рыбоядные птицы переносят радиоактивные вещества на сушу. При гниении отходов они передаются бактериям. Накопление радиоактивных веществ в костном мозге приводит к лейкозному, раковым заболеваниям.

По цепям питания происходит и отравление человека ядохимикатами, употребляемыми в борьбе с насекомыми-вредителями и грибковыми заболеваниями растений. Они отравляют полезных насекомых и в первую очередь птиц. Попадая после дождей в реки, ядохимикаты губят рыб и поедающих их птиц. Яды, попадая на ягоды, овощи, с травой в мясо и молоко рогатого скота, накапливаются в организме человека, вызывая заболевания.

-  1. Какое влияние на образование биосферы оказали возникновение жизни и эволюция органического мира? 2. Как отразилась деятельность человечества на биосфере? 3. Какое влияние оказала деятельность человечества на растительный и животный мир, на почву, реки, озера, атмосферу? 4. К каким последствиям приводит истребление лесов?

## 71. Ноосфера

Человечество — часть биомассы биосферы — долгое время находилось в непосредственной зависимости от окружающей природы. С развитием мозга человек сам становится мощным фактором дальнейшей эволюции на Земле. Овладение человеком различными формами энергии — механической, электрической и атомной — способствовало значительному изменению земной коры

и биогенной миграции атомов. Использование каменных орудий длилось сотни тысяч лет, а от каменного до атомного века прошло лишь несколько тысячелетий. За время своего существования человечество добыло каменного угля около 50 млрд. т, железа — 2 млрд. т и миллионы тонн других металлов. Все большее и большее количество элементов вводится в миграцию атомов биосферы деятельностью человека. Особенно это проявляется во время войны, когда каждый год ведения войны требует десятков миллионов тонн железа, стали, цемента, нефти, сотен миллионов тонн угля и др.

Человек оказал непосредственное влияние на природу созданием каналов, водохранилищ, изменением русла рек и т. д. Эти новообразования повлияли на климат.

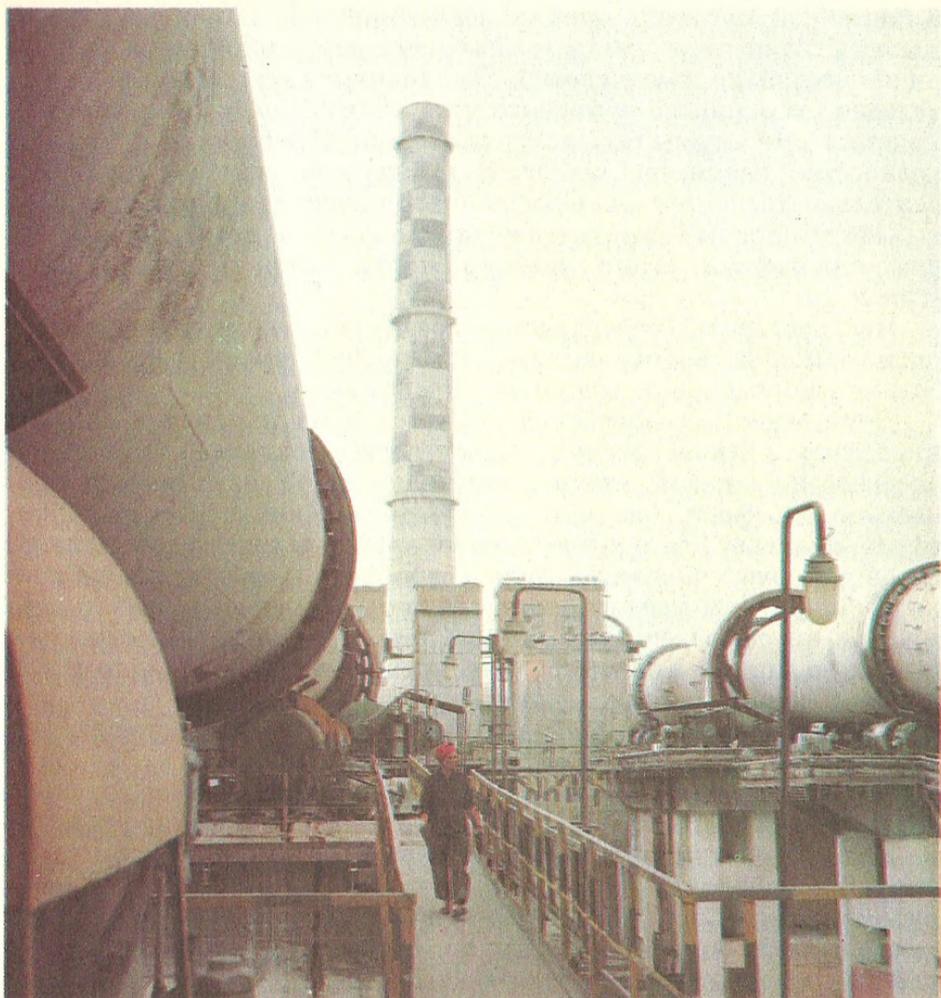
Деятельность человека сказывается и на изменении состава атмосферы, рек и океана. Человечество овладело громадной энергией и техникой, стало главнейшей силой, изменяющей процессы в биосфере. Академик В. И. Вернадский в учении о биосфере полагает, что в настоящее время человечество должно создать новую оболочку Земли — ноосферу («разумная оболочка» Земли). Человечество представляет сравнительно небольшую массу в биосфере, но деятельность его грандиозна. Человек уже вышел за пределы биосферы, его космические корабли достигли Луны, Венеры и других планет.

Научно обоснованное управление биосферой будет решающим условием ее превращения в сферу разума.

**Охрана природы.** В настоящее время во всем мире возникла крайняя необходимость наладить разумное развитие производства, потребление энергии и использование природных богатств, не нарушая закономерностей, существующих в биосфере. Нужна охрана чистоты воздуха, воды, почвы, живой природы на основе биологических знаний. Санитарная охрана биосферы стала важнейшей проблемой всего человечества.

В Конституции СССР в статье 18 говорится: «В интересах настоящего и будущих поколений в СССР принимаются необходимые меры для охраны и научно обоснованного, рационального использования земли и ее недр, водных ресурсов, растительного и животного мира, для сохранения в чистоте воздуха и воды, обеспечения воспроизводства природных богатств и улучшения окружающей человека среды» (см. с. 11). В статье 67 указано: «Граждане СССР обязаны беречь природу, охранять ее богатства».

Каждый гражданин СССР, каждый школьник должен быть убежден в необходимости сохранять, восстанавливать и расширять зеленые пространства, обогащающие кислородом воздух, охранять животных и способствовать их размножению. Промышленные предприятия обязываются устанавливать очистные установки для сбрасываемых вод, дымоуловители, наладить использование отбросов ■■■■. Каждое производство должно создать замкнутую систему (в частности, циркуляции воды) с использованием всех



127. Экологически чистое производство (цементный завод).

отходов, чтобы вредные вещества не вводились в биологический круговорот.

Учреждения обязаны при планировании строительства, проведении мелиоративных мероприятий, добычи ископаемых, лесозаготовках учитывать баланс природных ресурсов и возможные последствия нарушения равновесия природных явлений 28.

Последствия нарушений природных явлений переходят границы отдельных государств и требуют международных усилий в охране не только отдельных экосистем — лесов, водоемов, болот и т. п., но и всей биосферы в целом, тем самым атмосферы и гидросферы.

Все государства испытывают беспокойство за судьбу биосферы и дальнейшее совершенствование человечества. В 1971 г.

ЮНЕСКО (Организация Объединенных Наций по вопросам образования, науки и культуры), в состав которой входит и СССР, приняла Международную биологическую программу «Человек и биосфера», изучающую изменения биосферы и ее ресурсов под воздействием человека. Эти важные для судеб человечества проблемы могут быть решены только путем тесного международного сотрудничества.

Требуется принятие обязательных норм поведения государств, а также определение основных направлений международного сотрудничества в экологической области. В качестве возможных шагов можно назвать налаживание широкого обмена информацией по экологическим вопросам, взаимный доступ к передовой технологии, установление отчетности государств об их природоохранной деятельности и экологических инцидентах. Ряд международных соглашений по охране окружающей среды уже подписан нашей страной с США, Англией, Францией, Швецией, Канадой (в отношении исследования Арктики).

Необходимо сохранить видовое разнообразие органического мира, в противном случае существенно нарушатся процессы саморегуляции в экосистемах, значительно снизится возможность дальнейшей нейтрализации вредных влияний человеческой деятельности.

В современных условиях большую остроту приобретает проблема охраны природы и рационального использования ее ресурсов.

Верховный Совет СССР за последние годы принял основы земельного, водного законодательства, основы законодательства о недрах. Приняты законы об охране атмосферного воздуха, об охране и использовании животного мира и др. Организованы заповедники и заказники, в которых сохраняются естественные биогеоценозы, размножаются редкие виды животных и растений, в том числе занесенные в «Красные книги». В СССР общая площадь заповедников, разного типа заказников и других территорий, находящихся под специальной защитой и охраной, составляет около 8% территории страны. Особенно важное значение имеют биосферные заповедники, в которых полностью сохраняются естественные природные условия. Таких заповедников на территории Советского Союза в настоящее время имеется около 170.

Велики воспроизводящие силы природы, но им необходимо разумное содействие человека, вооруженного знанием экологических и эволюционных закономерностей. Только при этом условии природные богатства будут приумножаться.

**Управление природными процессами в биосфере.** Назрела потребность перевода сельскохозяйственного производства на биогеоценотическую основу. При посадке полезащитных полос оказалось необходимым создавать биогеоценоз, подсаживать кустарники для гнездовья и кормления птиц, без которых деревья уничтожались вредителями. Борьба с вредителями биологическим методом



**128. Рациональное использование природных богатств [на лесозаготовке].**

(с помощью насекомых, птиц, микроорганизмов, паразитов) более целесообразна и безвредна, чем применение химических средств, загрязняющих среду.

Особое значение в устойчивости биопродукции имеет создание *агроценозов* — возделывание многообразных культур с плодосменным севооборотом, использование органических удобрений, сочетание полеводства, луговодства, лесных массивов или полос. Такая система обеспечивает сохранение плодородия почв.

Главным является воспроизводство природных ресурсов и не только в сельском хозяйстве, но и диких животных в лесах и степях, в реках и океанах. Для разведения рыб строятся заводы.

В настоящее время на основе изучения пищевых цепей изме-

нено отношение к хищникам. Их роль можно представить таким образом. Истребление хищных птиц приводит к размножению змей, которые уничтожают лягушек, поедающих саранчу. Саранча, размножаясь, уничтожает посевы. Волки ловят слабых и больных особей, предотвращая этим эпидемические заболевания оленей и других животных. Совы, лисицы, волки, выдры и другие хищники выполняют своего рода санитарную службу в природе.

Началось культивирование водорослей и животных на морских плантациях. Особенно перспективным оказалось культивирование некоторых морских двусторчатых моллюсков, мясо которых обладает высокими вкусовыми качествами и богато белком.

Большое значение имеют исследования глубин океана и возможностей жизни человека под водой. Исследование морских глубин проводится в СССР и во многих странах мира. Пребывание человека на дне моря дает возможность культивировать водоросли, животных, добывать полезные ископаемые.

В настоящее время перед мировым сообществом стоит проблема сохранения и всемерного улучшения жизни человека. В связи с этим исключительное значение приобретает дальнейшее развитие науки о жизни — биологии. Главнейшая задача биологии — обеспечить питание человечество, которое, по прогнозам ученых, к 2000 г. увеличится до 6 млрд.

Возникает необходимость создания высокопродуктивных экологических систем, поддерживаемых человеком, а также устойчивых насаждений (биогеоценозов), защищающих посевные площади от ветров, засухи, песков, ливней, селей, эрозии почв и т. п. Вместе с тем нужно вести борьбу с хищническим использованием природных ресурсов. Сохраняемые в заповедниках дикие животные и растения важны как генофонд для селекции. Для сохранения в неприкосновенности ландшафтов с интересными биогеоценозами, редкими растениями и животными созданы заповедники и заказники. Первые заповедники в СССР были созданы по указанию В. И. Ленина, придававшего большое значение охране природы, сохранению эталонов памятников природы.

Управление наследственностью позволило получить породы высокопродуктивных животных и сорта высокоурожайных растений. Интродукция, акклиматизация и селекция все более и более мобилизуют растительные и животные ресурсы всего мира.

Много проблем касается гигиены жизни человека и медицины. В связи с открытиями последних лет в области генетики получила особенное развитие селекция микроорганизмов, генная инженерия, необходимые для организации промышленного производства антибиотиков, витаминов, стимуляторов роста, питательных продуктов. Изучение строения, обмена веществ и наследственных основ клетки помогает решать вопросы предотвращения многих заболеваний. Человек при полноценном питании, нормальных условиях жизни и труда приобретает здоровье и долголетие.

Биология оказывает влияние на технику: возникла наука

бионика, которая на основе изучения живых организмов помогает создавать экономичные и бесшумные механизмы, не раздражающие нервную систему человека.

Особенное значение имеет исключение вредных отходов промышленности из круговорота веществ.

Создание управляемого круговорота веществ в замкнутом пространстве позволит осуществить длительные полеты человека в космических кораблях и пребывание его на Луне и других планетах, не имеющих атмосферы. Перед новой наукой — космической биологией — стоит много проблем: обеспечение человека необходимыми для жизни в космосе условиями; преодоление опасности радиации; повышение устойчивости человеческого организма в условиях невесомости, ускорения движения, малой подвижности и т. п.; изучение психофизиологических возможностей человека по управлению космическим кораблем; изучение развития растений и животных в условиях космического полета; исследование возможных форм живой материи в условиях их существования в космосе. Многие из этих проблем уже решены.

Распространение и усвоение биологических знаний не только повлияет на охрану природы, но и станет необходимой основой при плановом использовании и воспроизводстве ее богатств. Без знания биологии немыслимо проектирование изменения русла рек, создания водохранилищ, постройки ГЭС и заводов, обрабатывающих естественное сырье. При всех народнохозяйственных решениях нужен учет последствий природных изменений — влияния их на климат, человека, животный и растительный мир. «Культура, если она развивается стихийно, а не направляется сознательно, оставляет после себя пустыню» (К. Маркс).

Изучение биологии, в частности биосферы, должно помочь каждому человеку понять значение сохранения окружающей природы и принять участие в воспроизводстве ее.

Человек, управляющий мощной техникой и энергией, вызывает громадные изменения в биосфере и расширяет ее пределы. Биологические знания позволяют совершать это разумно, не в ущерб дальнейшей жизни на Земле.



1. Что такое ноосфера?
2. Приведите примеры геологических изменений, производимых человеком на Земле.
3. Каковы перспективы охраны и воспроизводства природы?
4. На каких закономерностях экологии основывается охрана природы?
5. Какое значение имеют биологические знания в жизни человека и будущего человеческого общества?



- Австралопитек** 68  
**Автотроф** 92  
**Агроценоз** 104, 106, 274, 275  
**Аденин** 159  
**Аденозинтрифосфорная кислота (АТФ)** 134, 136, 156, 162—165, 167, 199  
**Аклиматизация** 8  
**Аллели (аллельные гены)** 212  
**Аминокислоты** 149, 169, 170  
**Анафаза мейоза** 188  
**Анафаза митоза** 181, 182  
**Антропогенез** 63  
**Аппарат Гольджи** 137  
**Ароморфоз** 51, 54, 55  
**Атавизм** 59, 60  
**Атмосфера** 110  
**Аутосомы** 220
- Бактерии** 118, 119, 120, 126, 142, 143  
**Бактериофаг** 144, 145  
**Барьер биологический** 18  
**Барьер географический** 18  
**Бельк** 132, 134, 138, 114—155, 169, 197  
**Бентос** 115  
**Биогеоценоз** 8, 91, 92, 93, 95, 97, 101, 105, 274, 276  
**Биологические ритмы** 84  
**«Биологические часы»** 86  
**Биомасса** 93, 109, 111, 116, 117  
 — океана 108, 115  
 — почвы 111, 113  
 — суши 111, 113, 114  
**Биосинтез белка** 34, 168, 176  
**Биосфера** 8, 109, 120, 121, 267
- Биотехнология** 245, 263, 264, 265  
**Биоценоз** 91  
**Бластомер** 192, 193  
**Бластула** 193  
**Борьба за существование** 15, 26  
 — внутривидовая 27  
 — межвидовая 28  
 — с неблагоприятными условиями 28
- Вакуоль** 130, 132  
**Варианта** 231  
**Вариационная кривая** 231  
**Вариационный ряд** 231  
**Веретено деления** 139, 182, 188  
**Вид** 16, 86, 87  
 — критерии 17  
 — — генетический 17, 183  
 — — морфологический 17  
 — — физиологический 17  
 — — экологический 17
- Видообразование** 38, 41  
 — географическое 39  
 — экологическое 41
- Вирус** 126, 142, 143, 144  
**Включение клеточное** 132, 133, 139  
**Водоросли сине-зеленые** 126, 130, 131, 142, 143
- Гамета** 186, 190, 210  
**Гаплоид** 189  
**Гастрюла** 193  
**Ген** 9, 168, 188, 210, 238  
**Генная инженерия** 264, 265  
**Генетика** 7, 205, 227, 256  
 — пола 219, 220

- популяций 240
- человека 224
- Генотип 206, 224, 229, 238
- Генофонд 241
- Гетерогаметность женская, мужская 221
- Гетерозигота 210, 211, 214, 240
- Гетерозиготность 209, 214, 240
- Гетерозис 249, 250, 259
- Гетеротроф 92
- Гибрид 207, 208, 209, 251
- Гибридизация 248, 251, 261
  - межлинейная 250
  - отдаленная 251, 252
- Гидросфера 109, 116
- Гликокаликс 127
- Гликолиз 165
- Гомогаметность женская 221
- Гомозиготы 210, 214
- Гомозиготность 209, 214
- Граны 136, 178
- Гуанин 159
  
- Дарвинизм** 13, 14, 15, 16
- Движущие силы эволюции 15, 30
- Дегенерация 52
- Действие генов множественное 223
- Деление клетки 181
- Дезоксирибонуклеиновая кислота (ДНК) 19, 136, 141, 144, 145, 157, 160, 161, 169
- Денатурация белка 153
- Дивергенция 38
- Доминирование 207
- Доядерные 126, 140, 141
  
- Жгуты** 139
- Живое вещество 109, 111, 117
  
- Закон**
  - биогенетический 44
  - гомологических рядов наследственной изменчивости 237
  - Менделя 207
  - — первый 207
  - — второй 213, 215, 216
  - расщепления 208
  - Моргана 219
- Харди — Вайнберга 241
- Заповедник 90
- Зигота 186, 190, 192
- Зональность географическая 104
  
- Идиоадаптация** 51, 54
- Изменчивость 20, 22, 225
  - наследственная (мутационная) 15, 21, 232
  - ненаследственная (модификационная) 20, 229, 230
- Изоляция 33
- Интерфаза 140, 141, 181, 183
  
- Клетка** 7, 140, 145
  - половая 184, 186, 187, 210
  - прокариотическая 142
  - соматическая 184, 188, 190, 212
  - эукариотическая 142, 181
- Коацерваты 200
- Код ДНК 168, 169, 170
- Колебания численности 101, 102
- Конвергенция 49
- Консументы 92
- Конъюгация хромосом 188
- Кристы 134, 135
- Кроманьонец 71
- Круговорот веществ 92, 101, 117
  
- Лейкопласты** 136
- Лизосомы 138, 139
- Липиды 156
- Литосфера 110
- Ложноножки 139
  
- Макроэволюция** 43
- Мезодерма 194
- Мейоз 188
- Мембрана 130, 132, 137, 140
  - плазматическая 127, 132, 138, 140
  - ядерная 140
- Метафаза мейоза 188
- Метафаза митоза 181, 182
- Метод
  - близнецовый 226
  - биохимический 227
  - генеалогический 225
  - гибридологический 206

- цитогенетический 227
- Мешок зародышевый 193
- Миграция атомов биогенная 118, 119
- Микроэволюция 38, 41, 243
- Мимикрия 35
- Минерализация (органических остатков) 100
- Миофибриллы 139
- Митоз 181, 182, 183, 185
- Митохондрии 134, 135, 136, 239
- Моделирование 79
- Мутация 21, 22, 232, 233, 234, 239
  - генная 234
  - соматическая 241
  - рецессивная 241
  - хромосомная 234
- Н**аправленность естественного отбора 31
- Наследование сцепленное (сцепление генов) 217
- Наследственность 19, 22, 205
  - хромосомная 238, 239
  - цитоплазматическая 239
  - человека 9, 225, 227
- Неандерталец 70
- Ноосфера 270, 271
- Норма реакции 229, 230
- Нуклеиновые кислоты (ДНК и РНК) 157, 199, 238
- Нуклеотиды 158, 159
- Об**мен веществ 6, 132, 162
  - пластический 163, 168, 177
  - энергетический 163, 165, 177
- Оболочка
  - белковая 144
  - геологическая 110
  - клеточная 127, 130
  - ядерная (клеточного ядра) 132, 140
- Окраска защитная (см. Мимикрия) 35
- Онтогенез 46, 192
- Оплодотворение 190, 191
- Оплодотворение двойное 191, 192
- Организм 126, 141, 181, 185, 239, 268
- Определение пола 221
- Органойд 126, 132, 139
- Отбор 25, 30, 241, 243, 250
  - движущий 242
  - естественный 15, 30, 32, 37, 241, 250
  - индивидуальный 249
  - искусственный 23, 25, 32, 250
  - массовый 248
  - направленный 31
  - стабилизирующий 243
  - эффективность 250
- Охрана окружающей человека среды 8
- Охрана природы 8, 9, 89, 271
- П**арк национальный 90
- Партеногенез 192
- Пептиды 150
- Пиноцитоз 130, 131
- Пирамида экологическая 110
- Питекантроп 68, 69
- Планктон 95, 115
- Пластиды 136, 239
- Плотность популяции 93
- Покой зимний 84
- Полиплоидия 235
- Полисома 134
- Популяционные волны (волны жизни) 33
- Популяция 7, 16, 18, 87
- Порода 23, 24, 245, 246, 269
- Правило экологической пирамиды 110
- Признак доминантный 207, 208
- Признак рецессивный 207, 208
- Принцип комплементарности 160, 161, 172
- Приспособление 34
- Приспособленность организмов 34, 35, 36
- Прогресс биологический 54, 55
- Продуктивность биологическая 109
- Продуценты 92
- Происхождение жизни 197
- Происхождение человека 59
- Прокариоты (доядерные) 126
- Профаза мейоза 188
- Профаза митоза 181

- Развитие** 43, 192  
 — не прямое 195  
 — постэмбриональное 195  
 — прямое 195  
 — эмбриональное 192
- Размножение** 26, 102, 111, 181, 185, 187, 190  
 — бесполое 181, 185, 187  
 — половое 185, 187, 190
- Разнообразие видовое** 93
- Расы человека** 73
- Расизм** 75
- Расщепление признаков** 208, 210, 211
- Реакция матричного синтеза** 172
- Регресс биологический** 54, 55
- Редуцент(ы)** 92
- Реснички** 139
- Ресурсы природные** 8
- Рибоза** 157
- Рибонуклеиновая кислота (РНК)** 136, 140, 144  
 — информационная (и-РНК) 161  
 — транспортная (т-РНК) 162, 170, 171
- Рибосома** 133, 134, 136, 161, 175, 176
- Ритмы биологические** 84
- Рот первичный** 194
- Рудимент** 59, 60
- Ряд филогенетический** 46
- Саморегуляция** 99
- Связь пищевая** 93, 97
- Селекция** 248, 254  
 — животных 256, 261  
 — микроорганизмов 262, 263  
 — растений 248, 253
- Сеть пищевая** 93
- Сеть эндоплазматическая** 132, 133, 134  
 — гладкая 133  
 — гранулярная 133
- Сила гибридная (см. Гетерозис)** 249
- Синантроп** 70
- Систематика** 47
- Синтез** 169  
 — АТФ 165  
 — и-РНК 168, 169  
 — т-РНК 169
- Скрещивание** 206, 207, 258, 259, 260  
 — близкородственное 259  
 — дигибридное 213, 215  
 — моногибридное 207, 208
- Смена биогеоценозов** 103, 104
- Сок ядерный** 140
- Сорт** 23, 24, 245, 246
- Сперматозоид** 186, 187
- Спермий** 190, 191
- Стенка клеточная** 130
- Стратосфера** 109
- Структура белка** 150  
 — первичная 150  
 — вторичная 151  
 — третичная 151  
 — четвертичная 151
- Сцепление генов (наследование сцепленное)** 219
- Телофаза митоза** 181, 183
- Теория клеточная** 123, 124, 125
- Теория эволюции** 10
- Тимин** 159
- Транскрипция** 170
- Трансляция** 172, 175
- Триплет(ы)** 168, 171, 175, 176
- Тропосфера** 109
- Углевод** 155, 156
- Управление природными процессами** 273
- Урацил** 161
- Уровень организации** 6, 8, 109, 146
- Учение эволюционное Ламарка** 12
- Фагоцитоз** 129, 130, 131
- Факторы** 30  
 — абиотические 78, 80, 81, 82  
 — антропогенные 78  
 — биотические 78  
 — ограничивающие 78  
 — эволюции 30, 33, 63  
 — биологические 33, 66  
 — социальные 66, 67  
 — экологические 77
- Фенотип** 206, 229
- Ферменты** 138, 154, 176
- Филогенез** 46

Фотопериодизм 84, 86  
 Фотосинтез 136, 177, 178, 179

**Хемосинтез** 179

Хлоропласт 136, 177, 239  
 Хлорофилл 136, 177  
 Хроматида 182, 188  
 Хромoplast 136  
 Хромосома 19, 140, 141, 181, 183,  
 184, 188, 190, 220, 238  
 Хромосома-Х 220, 221  
 Хромосома-У 220, 221  
 Хромосомный набор 184, 190  
 — гаплоидный 183, 184  
 — диплоидный 183, 184

**Центр клеточный** 137, 139  
 Центры происхождения культурных  
 растений 246, 248  
 Центриоль 139, 187  
 Центромера 181

### КРАТКИЙ СЛОВАРЬ, ТЕРМИНОВ

**Автотроф** (гр. «аутос» — сам + гр. «трофо» — пища, питание) — организм, синтезирующий органическое вещество из неорганических соединений с использованием энергии Солнца (с помощью фотосинтеза) или энергии, освобождающейся при химических реакциях (с помощью хемосинтеза).

**Агроценоз** (гр. «агрос» — поле + гр. «койнос» — общий) — преобразованное из естественного и регулярно поддерживаемое человеком, обычно маловидовое (нередко с одним видом высеваемых культурных растений), сообщество организмов. Создается для получения сельскохозяйственной продукции (зерна, кормовых трав и т. п.)

**Биология** (гр. «биос» — жизнь + гр. «логос» — учение, знание) — ком-

плекс знаний о жизни и совокупность научных дисциплин (около 300), изучающих живое: химический состав, тонкую и грубую структуру, распространение, функционирование, его прошлое, настоящее и будущее, а также практическое значение и применение (напр., в биотехнологии). Термин «Б»<sup>1</sup> в современном понимании введен в 1802 г. французским ученым Ж. Б. Ламарком и одновременно немецким естествоиспытателем Г. Р. Тревиранусом.

**Биологический регресс** (лат. «регрессус» — возвращение, движение назад) — эволюционный упадок систематической группы: снижение числа входящих в нее видов, сужение области их распространения, уменьшение числа особей и др. Б. р. характерен, напр., для класса рептилий.

Цель питания (пищевая) 93, 94, 98,  
 99, 113  
 Цитозин 159  
 Цитология 123  
 Цитоплазма 132, 134

**Человек разумный** 72  
 Человек умелый 68  
 Чистота гамет 210, 211

**Эволюция** 12, 47, 50, 199, 268  
 — биосферы 267  
 Экология 77  
 Экосистема 105, 116  
 Эктодерма 194  
 Энергия, поток, превращение 93, 113  
 Энтодерма 194  
 Эукариоты 126

**Ядро клетки** 132, 139, 140  
 Ядрышко 132, 140  
 Яйцеклетка 186, 187

<sup>1</sup> Начальная буква термина.

**Видообразование географическое** — возникновение нового вида при проникновении части его особей за пределы ареала материнского вида и приобретении там свойств и признаков видовой ранга. Обычный способ видообразования.

**Видообразование экологическое** — возникновение нового вида в границах ареала материнского вида путем приобретения одной или несколькими популяциями признаков вида, отличающихся от родоначального вида и закрепленных генетически. Сравнительно редкий случай видообразования.

**Гамета** (гр. «гамете» — жена, «гаметес» — муж) — половая клетка с одинарным набором хромосом (гаплоид): женская (яйцо, или яйцеклетка) и мужская (сперматозоид у животных, спермий — у растений). При слиянии разнополюх гамет образуется зигота (диплоид), несущая признаки обоих родительских организмов.

**Гаплоид** (гр. «гапλος» — одиночный + гр. «эйдос» — вид) — клетка или особь с одинарным (гаплоидным) набором непарных хромосом, который образуется в результате редукционного деления.

**Гетеротроф** (гр. «гетерос» — другой + гр. «трофо» — пища, питание) — организм, использующий для питания только или преимущественно (для видов со смешанным питанием) органические вещества, произведенные другими видами-автотрофами. Г., как правило, абсолютно не способен синтезировать вещества своего тела (кроме видов со смешанным

питанием) из неорганических составляющих.

**Гибридизация** (лат. «гибрида» — смесь) — получение потомства от пары разнородных в генетическом отношении особей, принадлежащих к различным видам, сортам, породам, линиям и т. п.

**Гидросфера** (гр. «хидор» — вода + гр. «сфера» — шар) — водная оболочка Земли — совокупность океанов, их морей, озер, водохранилищ, рек, водотоков (например, ручьев), луж и т. д. Иногда к Г. относят также подземные воды всех типов — поверхностные (грунтовые) и глубинные (артезианские)

**Дивергенция** (лат. «диверgere» — расхождение) — 1) <sup>1</sup> расхождение признаков у родственных организмов в процессе их эволюции, ведущее к возникновению новых систематических категорий (видов, родов и т. д.); термин введен Ч. Дарвином; 2) разделение одного биотического сообщества (живой части биогеоценоза) на два в результате внутренних или внешних причин, напр. заболачивания или выгорания части леса при лесном пожаре.

**Диплоид** (гр. «диплос» — двойной + гр. «эйдос» — вид) — клетка или особь с двумя гомологичными (парными) наборами хромосом, которые возникают в результате слияния гаплоидных гамет и образования зиготы, а из нее в процессе индивидуального развития — клеток организма.

**Доминирование** (лат. «доминанс», «доминантис» — господствующий) — 1) преобладание эффекта действия определенного аллеля (гена), выражающегося в том, что доминантный аллель подавляет действие другого (рецессивного) аллеля, и у потомства развивается признак или свойство, контролируемое доминантным

<sup>1</sup> При многозначности термина первое из приведенных определений соответствует принятому в учебнике.

аллелем; 2) способность вида растении занимать в сообществе главенствующее положение и оказывать наибольшее влияние на биогеоценоз (напр. сосна в сосновом лесу); 3) господствующее положение наиболее сильной особи в группе (стае, стаде).

**Заповедник** — особо охраняемое законом пространство (территория, акватория); оно нацело исключено из любой хозяйственной деятельности (в том числе посещения людьми) в целях сохранения в нетронутом виде природных комплексов (как эталонов, образцов природы), охраны видов живого и слежения за естественными природными ресурсами. В З. разрешаются лишь мероприятия по поддержанию его природы, если ей угрожают внешние воздействия (напр., подтопление при строительстве водохранилища), как правило, без извлечения от этих мероприятий экономической выгоды. В СССР З.— одновременно научное учреждение, входящее в состав других природных охраняемых территорий (заказников, национальных парков и др.)

**Классификация** (лат. «классис» — ряд, группа + лат. «фацере» — делать) — условное разделение совокупности каких-то объектов или явлений по группам в соответствии с общим признаком или признаками.

**Конвергенция** (лат. «конверgere» — приближаться, сходиться) — 1) появление в ходе естественного отбора сходных анатомо-морфологических, физиологических и поведенческих черт у относительно далеких по происхождению групп организмов. Напр., близкая форма тела у акул,

тунцов (рыб) и у китообразных (млекопитающих); органы, которые приобрели сходство в ходе К., называют аналогичными; 2) сближение в ходе естественного отбора свойств родственной группы растений до слияния их в ходе скрещивания в один вид.

**Круговорот веществ** — непрерывно повторяющийся под воздействием энергии Солнца процесс взаимосвязанного перемещения веществ в природе, имеющий более или менее циклический («круговой») характер. К. в. в природе неполностью замкнут (остатки веществ отлагаются в виде биогенных (геологических) пород. К. в. в природе происходит с обязательным участием живых организмов, а в последний исторический период его сильно видоизменяет человек.

**Литосфера** (гр. «литос» — камень + гр. «сфера» — шар) — внешний слой «твердой» Земли, включающий земную кору и верхнюю часть земной мантии, т. е. сферу до глубин 50—200 км (в том числе земной коры до 50—75 км на континентах и 5—10 км под океаном). Фактическое распространение организмов в Л. еще недостаточно изучено.

**Мейоз** — (гр. «мейозис» — уменьшение, убывание) — процесс деления созревающих половых клеток (гамет), в результате которого происходит уменьшение (редукция) числа хромосом, поэтому М. называют также редукционным делением. М. состоит из характерных фаз (профаза, метафаза, анафаза и телофаза.) Ср. Митоз.

**Мимикрия** (от гр. «мимикос» — подражательный) — 1) сходство особей одного вида животных по цвету (покровительственная окраска) или по форме с особями другого

вида животного, растения или его части (листом, окраской коры, как у некоторых бабочек), предметами (палочкой у палочников), несъедобными, ядовитыми, хищными (опасными) животными (напр., сходство кукушки с ястребом, бабочки-стекляницы — с осами). М. у животных способствует успеху в борьбе за существование; одна из наиболее распространенных форм приспособительной окраски, позволяющей особям вида либо сохраниться (окраска защитная), либо успешнее нападать на свои жертвы (полосатая окраска тигра, щуки, окуня, пятнистая окраска леопарда); 2) сходство внешнего облика одного вида растения, формы, окраски, запаха его цветков с другим или другими видами растений или животными, служащее для привлечения полезных растениям животных-опылителей или отпугивания вредных. Напр., лишённые нектара цветки белозора похожи на медоносные и потому привлекают насекомых-опылителей.

**Митоз** (гр. «митоз» — нить) — деление ядра клетки и ее тела без уменьшения числа хромосом (их редукции), в ходе которого возникают характерные фазы (профаза, метафаза, анафаза и телофаза). Наиболее обычный тип деления клеток. Ср. Мейоз.

**Моделирование** (фр. «модель», итал. «моделло» от лат. «модулюс» — мера, образец) — метод исследования анатомо-морфологических структур, физиологических функций, эволюционных, экологических и др. процессов путем их упрощенного имитирования (копирования) — представления в виде макета, графической (карта, график) или логической схемы, системы уравнений (математическое моделирование) и др. приемов. Любая модель всегда упрощена и не-

полностью соответствует реальному объекту или явлению, однако она позволяет исследовать многие процессы, даже недоступные для экспериментального воспроизведения, напр., общебиосферные, космические и др. Математическое М.—числовое (в виде системы уравнений) выражение парных связей с последующим объединением все новых и новых пар взаимоотношений. Это позволяет, изменяя одно числовое значение, видеть изменения остальных показателей, включенных в модель, на основе чего составить картину вероятных перемен во всей их совокупности. Напр., расчет влияния увеличения количества углекислого газа в атмосфере Земли — так называемого «тепличного эффекта» — позволяет определить вероятные изменения климата, бывшие в прошлом и могущие возникнуть в ближайшем и отдаленном будущем, а, следовательно, реконструировать и прогнозировать условия жизни на планете.

**Национальный парк** (в СССР официальное название — государственный природный национальный парк) — обширная территория или акватория, которая включает не подвергшуюся воздействию человека природу или привлекательные для отдыха участки окультуренной природы. Помимо задачи сохранения участков территории или акватории в относительной неприкосновенности Н. п. предназначен для организации отдыха. Для обозначения Н. п. в СССР применяются также синонимы природный парк и народный парк. За рубежом природный парк — наименее строго охраняемый эстетически привлекательный участок местности («дикий» или окультуренной природы, в том числе сельскохозяй-

ственных угодий), предназначенный для отдыха.

**Ноосфера** (буквально «мыслящая оболочка», сфера разума) — фаза развития биосферы, в ходе которой разумная деятельность человечества становится главным определяющим фактором ее функционирования. Видоизменяя биосферу, человек должен стремиться ее сохранить в том состоянии, в котором он сам эволюционно возник и может существовать как биологический вид и вести хозяйство, сохраняя и улучшая свое здоровье. Это условие служит ограничением в преобразовании природы.

**Обмен веществ** — потребление, превращение, использование, накопление и выброс (потеря) веществ и энергии в живых организмах, позволяющие им самосохраняться, расти, развиваться и размножаться в условиях окружающей их среды, а также приспособляться (адаптироваться) к ней, ее постоянным изменениям.

**Общая биология** — раздел биологии, рассматривающий наиболее широкие, универсальные для всего живого закономерности химического состава, тонкой и грубой структуры, индивидуального развития, наследственности и эволюции организмов, их взаимоотношения с внешней средой и закономерности возникновения природных сообществ — от биогеоценоза до биосферы.

**Организм** (гр. «органон» и лат. «организмус» — орудие, инструмент) — многозначный термин, в наиболее общем виде обозначающий живое существо, характеризующееся всеми свойствами жизни.

**Охрана окружающей человека среды** — комплекс международных, государственных, региональных и локальных (местных) административно-хо-

зяйственных, технологических, политических, юридических и общественных мероприятий, направленных на обеспечение социально-экономического культурно-исторического, физического, химического и биологического комфорта, необходимого для сохранения здоровья человека. Ср. Охрана природы.

**Охрана природы** — совокупность международных, государственных региональных и локальных (местных) административно-хозяйственных, технологических, политических, юридических и общественных мероприятий, направленных на сохранение, рациональное использование и воспроизводство природы Земли и ближайшего к ней космического пространства в интересах существующих и будущих поколений людей.

**Пищевая сеть** — все разнообразие пищевых взаимоотношений между организмами в экосистеме. Одна из важнейших особенностей П. с. заключается в том, что в подавляющем большинстве случаев одинаковый тип взаимоотношений характерен для группы видов, которые заменяют друг друга. Напр., хищники могут питаться копытными, мышевидными грызунами, зайцами, птицами, насекомыми, др. животными, даже растениями. Если исчезает один вид корма, его место временно или постоянно занимают другие виды пищевых объектов (т. е. они экологически и энергетически дублируют друг друга), и экосистема сохраняет свою структуру.

**Планктон** (гр. «планктос» — блуждающий) — совокупность организмов, обитающих в толще воды и неспособных к активному сопротивлению переносу течениями, т. е. более или менее пассивно «парящих» в воде. П. включает как мельчайшие,

так и крупные (до 1 м в поперечнике) организмы, напр. крупные медузы.

**Порода** — 1) порода сельскохозяйственных животных — созданная с помощью искусственного отбора группа животных одного вида, отличающаяся специфическими передаваемыми по наследству морфологическими, физиологическими и хозяйственными признаками; 2) лесная порода — вид или другая систематическая категория или лесохозяйственная группа древесных растений (хвойные породы, главные породы и т. п.); 3) садово-парковая порода — совокупность видов (или сортов) древесно-кустарниковых растений со сходными хозяйственными или биологическими признаками: семечковые, косточковые, орехоплодные, субтропические и др.

**Природные ресурсы** — источники получения необходимых людям материальных благ, заключенные в объектах живой и неживой природы. П. р. используются как средства труда или выступают как предпосылки для создания материальных богатств и благоприятной среды жизни человека. Их делят на заменимые и незаменимые (напр., солнечную энергию заменить нельзя ничем), восстанавливаемые и невозможные (напр., утраченный вид восстановить невозможно), восполнимые (за счет ранее неиспользованных источников, напр. новых рыбопромысловых регионов, вовлечения в промысел новых видов рыб и т. д.) или невозможные и, наконец, возобновимые (в ходе размножения и других процессов) и невозможные. Сейчас признано, что все П. р. на Земле исчерпаемы (ранее считалось, что солнечная энергия и ресурсы Мирового океана практически неисчерпаемы).

**Продуктивность** — 1) биологическая — биомасса, производимая популяцией или сообществом (экосистемой) на единице площади или в целом за единицу времени. 2) хозяйственная — увеличение количества особей или биомассы экономически ценных организмов (растений, животных, грибов, прокариотов) на единице площади за единицу времени (говорят о П. почвы, охотничьего вида животных, угодья и т. п.).

**Происхождение человека** — процесс выделения из животного мира социально-биологического существа со сложной социально-экономической организацией и трудовой деятельностью. Раса человека (фр. «рас», ит. «разза» — род, порода) — исторически сложившаяся группа людей (внутри вида человек разумный), характеризующаяся общностью наследственных физических (цвет кожи, глаз, форма их разреза, строение век, группа крови, ее особенности и др.) и отчасти психо-физиологических особенностей (например, способности производить некоторые ферменты и др.).

**Систематика** (гр. «система» — целое, составленное из частей) — разделение совокупности предметов или явлений по признакам, заложенным в самой природе этих объектов или явлений, а не просто по внешним их признакам. Ср. Классификация. В биологии С. — один из ее разделов, самостоятельная научная дисциплина.

**Смена биогеоценозов** — последовательная и постепенная смена растительности, животного мира, грибов, микроорганизмов, свойств почвы и др., фактически замена биогеоценоза другим под влиянием внутренних процессов, его взаимоотношений с окружающей средой. Напр., зарас-

тание земли с нарушенным почвенным покровом сначала лекарственной ромашкой, лебедой и др. бурьянами, затем рыхлокустовыми и плотнокустовыми злаками или вырубки елового леса сначала кустарниками, потом листовным, смешанным, часто сосновым, а затем сосново-еловым и снова еловым лесом такого характера, что был до момента вырубки. Такая С. б. носит название сукцессии (от лат. «сукцессио» — преемственность, наследование).

**Сорт** (фр. «сорт» — разряд, категория) — созданная в результате селекции значительная по числу совокупность растений одного вида, устойчиво обладающих в конкретных условиях возделывания определенными анатомо-морфологическими признаками, передаваемыми по наследству.

**Среда** — все тела и явления (природные и антропогенные, с которыми организм находится в прямых и косвенных взаимоотношениях. Принято отличать абиотическую («неживую»), биотическую («живую») и антропогенную (порожденную или резко измененную человеком) среду.

**Уровень организации** — место биологической структуры в органическом мире; обычно выделяют молекулярный (молекулярно-генетический), клеточный, организменный (особи), популяционно-видовой и биогеоэкологический (экосистемный).

**Устойчивость экосистемы** — ее способ-

ность сохранять структуру и функциональные особенности при воздействии внешних факторов.

**Хромосома** (гр. «хрома» — цвет, крас-ка+гр. «сома» — тело) — самовоспроизводящийся структурный элемент ядра клетки, содержащий ДНК, в которой заключена генетическая (наследственная) информация.

**Цепь питания (пищевая)** — последовательность групп организмов, каждая из которых (пищевое звено) служит пищей для последующего звена, т. е. связана отношением пища — потребитель (хищник — жертва, паразит — хозяин и т. п.)

**Экологическая пирамида** — графическое изображение (модель в виде прямоугольников, поставленных друг на друга) — соотношения между продуцентами, консументами и редуцентами в биогеоценозе. Э. п. может быть выражена в единицах массы (сырой биомассы или сухого ее веса) — это пирамида биомассы, в числе особей на каждом уровне — пирамида чисел или заключенной в особях энергии — пирамида энергии.

**Экосистема** (гр. «ойкос» — жилище, местопребывание+гр. «система» — целое, составленное из частей) — взаимосвязанный природный или природно-антропогенный комплекс, образованный живыми организмами и средой их обитания.

Учебное издание

Полянский Юрий Иванович  
Браун Александр Давидович  
Верзилин Николай Михайлович  
Данилевский Александр Сергеевич  
Жинкин Лев Николаевич  
Корсунская Вера Михайловна  
Суханова Ксения Мироновна

## ОБЩАЯ БИОЛОГИЯ

Учебник для 10–11 классов средней школы

Зав. редакцией В. И. Сивоглазов  
Редактор Л. А. Приходько  
Художник Б. А. Гомон  
Художественный редактор В. А. Галкин  
Технические редакторы Л. М. Абрамова, Р. С. Невретдинова  
Корректор Л. А. Ермолина

ИБ № 14246

Подписано к печати с диапозитивов 25.03.91. Формат 60×90<sup>1</sup>/<sub>16</sub>. Бум. офсетная. Гарнитура литерат. Печать офсетная. Усл. печ. л. 18 + фор. 0,375. Усл. кр.-отт. 73,75. Уч.-изд. л. 19,37 + фор. 0,33. Цена 2 р. 70 к.

Ордена Трудового Красного Знамени издательство «Просвещение» Министерства печати и массовой информации РСФСР. 129846, Москва, 3-й проезд Марьиной рощи, 41.

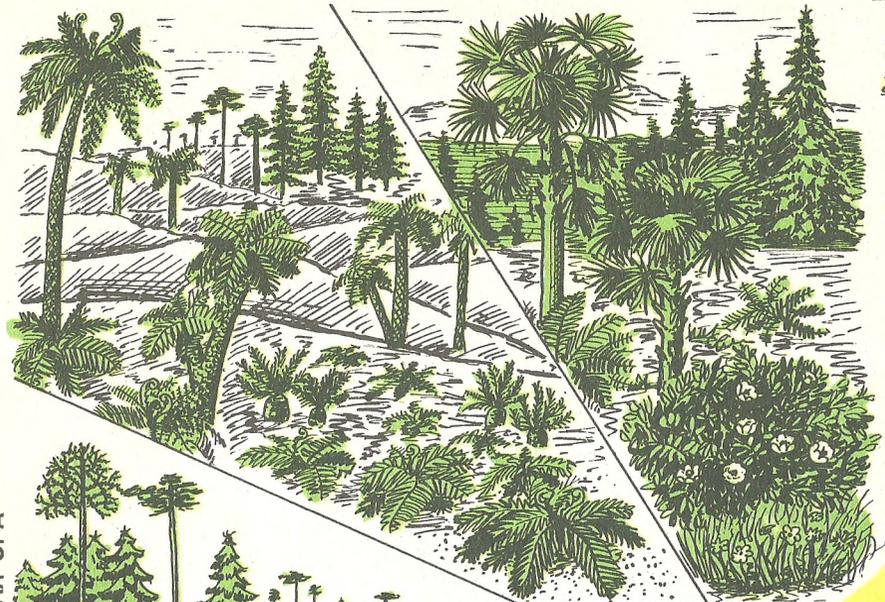
Отпечатано при посредстве В/О «Внешторгиздат»

Отпечатано Графишер Гросбетриб Пёснек ГмбХ · Эйн Мондрук-Бетриб  
Gedruckt bei Graphischer Großbetrieb Pößneck GmbH · Ein Mohndruck-Betrieb

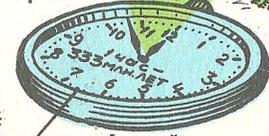
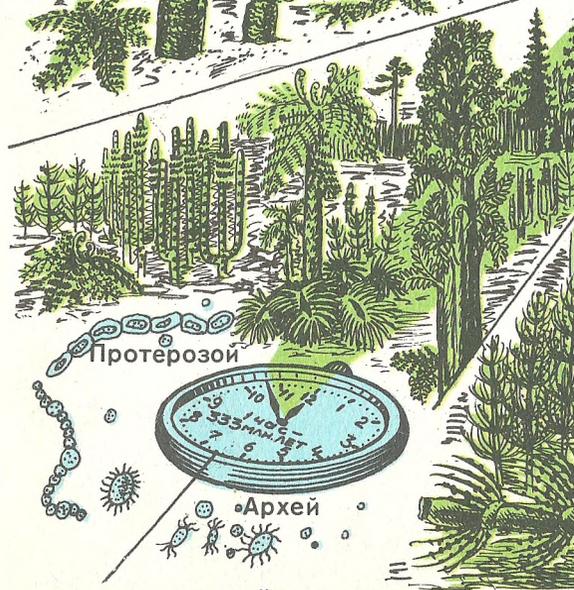
## ЭТАПЫ РАЗВИТИЯ РАСТИТЕЛЬНОГО МИРА НА ЗЕМЛЕ

Условные обозначения последовательности и продолжительности развития растительности такие же, как и на форзаце, отображающем развитие животного мира. В археозойской и начале палеозойской эрах растительность была лишь водной. Только в силуре растения выходят на сушу. В карбоне (каменноугольный период) вырастают огромные леса, родственные хвощам, плаунам и папоротникам. Появляются первые голосеменные, которые преобладают в мезозое. Покрытосеменные растения, существовавшие уже в мелу, наиболее распространились в кайнозойскую эру, потеснив голосеменных везде, кроме тайги и других хвойных лесов.

МЕЗОЗОЙСКАЯ ЭРА

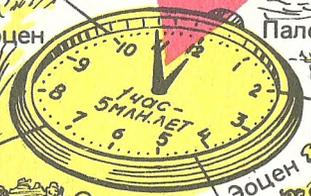
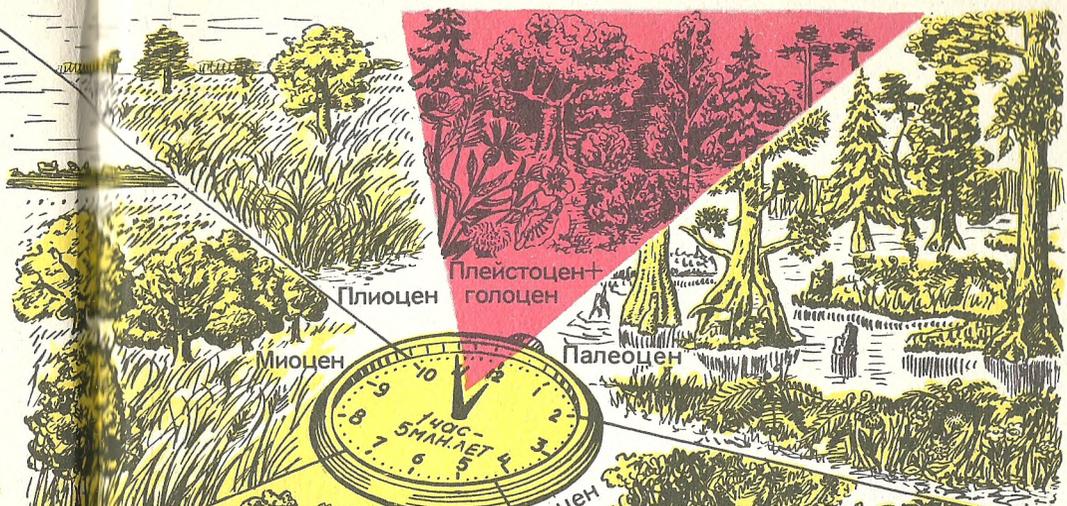


Юра Мел Триас Пермь Карбон

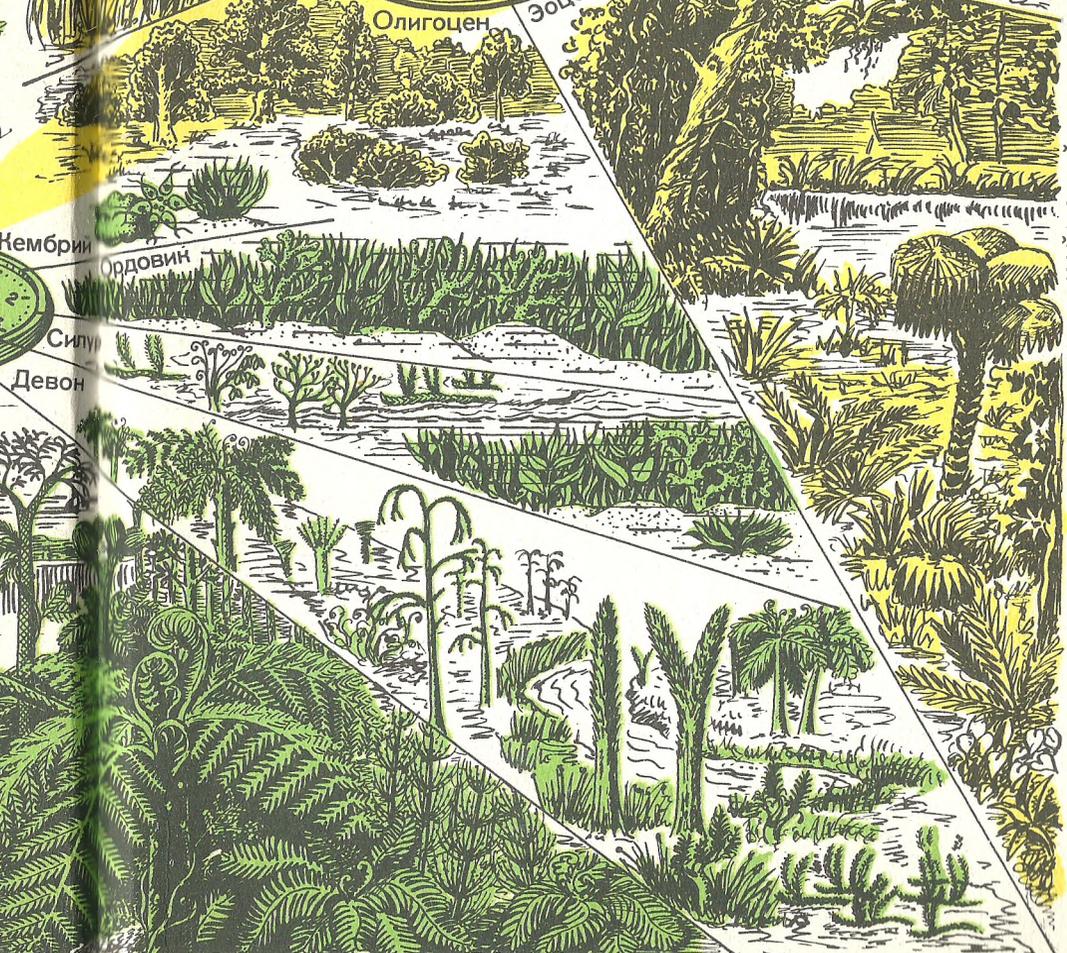


Архей

АРХЕОЗОЙСКАЯ ЭРА



Плиоцен Миоцен Палеоцен Эоцен



КАЙНОЗОЙСКАЯ ЭРА

ПАЛЕОЗОЙСКАЯ ЭРА

2 р. 70 к.

