

Е.И. Федорос, Г.А. Нечаева

ЭКОЛОГИЯ

БАЗОВЫЙ УРОВЕНЬ

10
11

классы



Практикум



ВЕРТИКАЛЬ

 дрофа



Е. И. Федорос, Г. А. Нечаева

ПРАКТИКУМ

к учебнику

ЭКОЛОГИЯ

БАЗОВЫЙ УРОВЕНЬ

10
11

классы



Москва



2019



| российский
учебник

УДК 373.167.1:574
ББК 20.1я72
Ф33

Федорос, Е. И.

Ф33 Экология : 10–11 классы : базовый уровень : практикум / Е. И. Федорос, Г. А. Нечаева. — М. : Российский учебник, 2019. — 384 с. : ил.

ISBN 978-5-358-21891-8

Учебное пособие подготовлено к учебнику Н. М. Черновой, В. М. Галушина, В. М. Константинова «Экология. 10–11 классы. Базовый уровень».

Пособие содержит учебный материал по планированию, организации и проведению научных биоэкологических исследований, компьютерному моделированию, научно-библиографической работе, обработке и оформлению научных данных. В книге представлены теоретические основы классической экологии, а также разнообразные и доступные методики изучения природных объектов. Пособие дополнено словарем терминов и содержит систему вопросов и заданий, что позволяет использовать книгу как самоучитель.

Пособие будет также полезно учителям предметов естественнонаучной образовательной области, руководителям творческих и учебных научных работ.

УДК 373.167.1:574
ББК 20.1я72

→ ПРЕДИСЛОВИЕ

Экология появилась около 150 лет назад и первое время развивалась как описательная отрасль знаний. Сегодня экологи используют самые современные методы исследования. Среди них важное место занимают *эксперименты* и *компьютерное моделирование*.

В современном мире интерес к экологии — науке о взаимоотношениях живых организмов и окружающей среды — постоянно возрастает. Он во многом вызван необходимостью решить экологические проблемы разного масштаба — глобальные (такие, как возникновение озоновых дыр) и более или менее частные (например, утилизация мусора).

Предлагаем вам принять активное участие в исследовании загадок природы, многие из которых ещё не разрешены до конца и, возможно, ждут именно вас. Надеемся, что эта книга поможет вам раскрыть свои способности и таланты в изучении вопросов экологии, станет вашим путеводителем в увлекательном мире научных исследований и открытий.

Экологический практикум состоит из двух частей. Первая часть содержит теоретические сведения, освещающие вопросы общей экологии. Вторая часть — это практикум, т. е. практические рекомендации по созданию компьютерных моделей и выполнению биоэкологических исследований на различных объектах. Пособие дополнено словарём научных терминов. В конце книги помещён предметный указатель, позволяющий быстро найти нужную страницу с информацией о том или ином объекте или понятии, и указатель методик биоэкологических исследований.

В книге специально приведены не только русские, но и латинские наименования видов, которые состоят из двух названий — родового и видового. Такой принцип построения наименований называют бинарной номенклатурой (от лат. *binarius* — двойной). Она была введена в науку в 1758 г. Карлом Линнеем (1707—1778) и с тех пор служит универсальным средством общения учёных разных стран. Например, ящерица по-латыни — *lacerta*. Род *Lacerta* включает около 40 видов. Среди них — знакомый вам вид *Lacerta viridis* (яще-

рица зелёная), или сокращённо *L. viridis*. Иногда видовое название заменяют сокращением *sp.* (от лат. *species* — вид, разновидность). Записью *Lacerta sp.* можно обозначить любого представителя рода Ящерица.

Научные названия не обязательно заучивать — если понадобится, их всегда можно отыскать в биологических и медицинских справочниках.

Теоретические сведения (в первой части пособия) сопровождаются примерами из реальной жизни. Текст примеров набран шрифтом, отличным от шрифта основного текста, и выделен тонкой рамкой. В то же время к основному тексту, где это необходимо, даны более подробные пояснения (н б р ны шрифтом, отличным от шрифт основного текст , и помечены зн чком —▶). Они помогут любознательным читателям глубже вникнуть в суть обсуждаемого вопроса. Кроме того, многие параграфы включают материалы, которые мы назвали дополнительными сведениями (они расположены в конце параграфов). Эти материалы понадобятся вам во время подготовки и проведения собственных практических работ.

В тексте пособия вам встретятся задания, для выполнения которых потребуются и знания, и смекалка. Они помечены звёздочками. Чем больше звёздочек, тем сложнее вопрос и тем интереснее найти ответ. В конце каждого параграфа представлены вопросы и тестовые задания, которые помогут вам проверить свои знания.

Для того чтобы попробовать себя в качестве учёного-исследователя, необходимо провести большую самостоятельную работу. Руководством в этом послужит вторая часть пособия (практикум). При помощи представленных в ней рекомендаций можно выполнить работу по тому из направлений (их списки указаны в начале § 7.1—7.5), которое покажется вам наиболее интересным, или разработать собственную исследовательскую тему.

Надеемся, что эта книга поможет вам достичь успеха и внести свою лепту в изучение научных экологических вопросов.

Авторы

Часть 1

▲ Основы экологии



Научное познание и научные исследования



1.1. Научный взгляд на окружающий мир

Сотовые телефоны, компьютеры, новейшие лекарственные препараты и медицинское оборудование, спасающие жизнь человека и продлевающие его век, — всё это результаты развития науки.

Термин «наука» употребляют для обозначения отдельной области научного знания — физики, биологии, истории, психологии и т. п. Но наука — это и одна из важнейших сфер человеческой деятельности. Её функции — производство и систематизация знаний о природе, обществе и человеке. Поэтому прежде всего науку следует понимать как деятельность по *производству знаний*.

За каждым научным открытием и техническим изобретением стоит труд учёных, исследователей, инженеров. Мы привычно используем плоды их работы, далеко не всегда представляя себе, что *научное познание* имеет свои особые правила, методы и формы.

Уровни научного познания

Научное познание даёт объективное, систематизированное описание явлений и направлено на поиск новых фактов, подтверждающих существующие теории и законы. В отличие от ненаучных форм мировоззрения (религии, обыденных взглядов на мир, искусства), в научном познании действует принцип: ни одного положения не принимать на веру, периодически возвращаться к имеющимся убеждениям и критически их анализировать.

Научное познание имеет творческий характер: учёный не удовлетворяется простым перечислением уже известного. Наука — это всегда исследование, поиск нового, стремление к открытиям.

Научное исследование нацелено на изучение различных объектов и явлений, на определение их взаимосвязей, на выявление и объяснение действующих закономерностей. Оно может быть теоретическим и экспериментальным.

Поэтому выделяют два *уровня научного познания* — *эмпирический* и *теоретический*.

Эмпирический уровень научного познания (от греч. *empereia* — опыт) представляет собой изучение *конкретных* предметов и явлений, происходящих в природе, обществе, человеке. Эмпирическое научное познание — это практическая работа исследователя. Методы опытного изучения окружающего мира основаны на деятельности органов чувств человека.

Теоретический уровень научного познания (от греч. *theoria* — рассмотрение, исследование) не предполагает непосредственного контакта с исследуемыми объектами. На теоретическом уровне происходит обобщение опыта, эмпирических данных. В ходе теоретического познания формируются научные гипотезы и теории — сложные формы научной мысли, которые наиболее полно описывают изучаемую данной наукой область действительности. Гипотезы и теории вместе составляют *научную картину мира* — фундамент научного мировоззрения.

Эмпирическое познание

Наблюдение

Наблюдение в науке — это целенаправленное систематическое изучение какого-либо предмета или явления в естественных условиях. Простым примером научного наблюдения служит постоянный контроль за температурой воздуха, атмосферным давлением, силой и направлением ветра и другими параметрами погодных условий на метеостанциях.

Часто наблюдение невозможно без *измерения* и *сравнения*, которые являются частными случаями наблюдения. Поэтому для научного наблюдения исследователю, как правило, необходимы определённые навыки и различные измерительные приборы. Научное наблюдение строится по определённому плану; оно учитывает уже установленные факты и опирается на современные научные теории.

Велика роль наблюдения в тех науках, которые не располагают другими способами эмпирического исследования. Например, исследователь — астроном или вулканолог не может изменить ход событий по собственному желанию.

→ Некоторые учёные придерживаются мнения, что в этих областях также возможны эксперименты, например, астрономический эксперимент состоит в том, что учёный выбирает время, место и способ наблюдения так, чтобы получить ответ на поставленный вопрос.

Эксперимент

Эксперимент отличается от наблюдения тем, что изучение предметов или явлений происходит не в естественных, а в контролируемых и управляемых или даже в специально созданных исследователем условиях. Строгий контроль условий проведения эксперимента обязателен. Результаты опыта регистрируют и затем обрабатывают.

Процессы в природе крайне сложны и неоднозначны, поэтому часто организывают такое исследование, в котором можно выделить существенные факторы «в чистом виде» и сконцентрировать на них внимание.

Классические эксперименты основоположника учения о наследственности Грегора Иоганна Менделя (1822—1884) на горохе фактически открыли миру целую науку — генетику. Принцип их постановки был прост — скрещивание растений для получения гибридов, а затем — скрещивание гибридов и анализ признаков, которые были унаследованы от родительских особей и проявились у потомков.

- Очень часто известно то, что успех этих экспериментов был в большой мере обеспечен везением. Случайно или интуитивно, Мендель взял для анализа признаки, которые определяются единичными генами, что встречается не так уж часто. Например, даже цвет глаз и волос у человека кодируется несколькими генами.

Моделирование

Моделирование как метод эмпирического познания помогает изучать те объекты, которые оказываются недоступными для прямых исследований или работа с которыми является нецелесообразной (например, слишком дорогостоящей). Сущность метода заключается в замене оригинала *моделью*, которая полностью воспроизводит только исследуемые свойства оригинала (см. дополнительные сведения на с. 19).

Наиболее простыми примерами моделей (конечно, их не используют в научном исследовании) являются детские игрушки — автомобили, самолёты, железные дороги, куклы, солдатики. Главное свойство игрушек состоит в том, что они похожи на оригиналы и дают детям возможность создавать собственную реальность.

- Моделированием действительности — созданием особых виртуальных миров — привлекают с компьютерные игры. Здесь мы *моделируем* свои поступки в различных ситуациях.

Теоретическое познание

Научные понятия, гипотезы, теории

С эмпирическим познанием тесно связано теоретическое познание, которое является естественным продолжением практики: на теоретическом уровне происходит объяснение результатов эмпирических исследований.

Основными единицами теоретического научного познания являются **научные понятия**. Понятием называют сумму знаний, отражающую существенные стороны и связи определённого предмета, явления, процесса или группы однородных предметов, явлений или процессов.

→ **Н**учное понятие выражается словом (или группой слов) — **научным термином**. Нучными терминами являются такие словесные выражения, как «биологическая активность почвы», «окисление», «плотность популяции».

Новые научные понятия образуются, как правило, тогда, когда происходят открытия или когда обработка эмпирических данных даёт новые, ещё не объяснённые сведения. Так, понятие «плотность популяции» было введено в то время, когда начали активно изучать связь численности популяции с площадью и объёмом занимаемой ею территории, а понятие «окисление» появилось в ходе изучения соответствующих химических реакций.

Суть теоретического научного познания состоит в формировании и анализе **научных гипотез**. Научная гипотеза представляет собой правдоподобное предположение, догадку или предсказание об объекте или ещё не изученных свойствах объекта. Гипотезы применяют тогда, когда важно устранить *неопределённость* в познании какой-либо проблемы. Научные гипотезы необходимо многократно проверять на практике и вновь анализировать на теоретическом уровне, с тем чтобы некоторые из них перешли в ранг теорий. Таким образом, теоретический и эмпирический уровни научного познания тесно взаимосвязаны.

В контролируемых лабораторных условиях учёные наблюдали за ростом трёх популяций: дрожжей (*Saccharomyces sp.*) в пробирке с питательной средой, малых мучных хрущаков (*Tribolium confusum*) в большой банке с мукой, домовых мышей (*Mus musculus*) в большом загоне, где в достаточном количестве имелись пища, вода и укрытия для постройки гнёзд.

Во всех случаях были обнаружены сходные факты: численность увеличивалась сначала медленно, потом очень быстро, но постепенно рост замедлялся и прекращался совсем (рис. 1.1). Была выдвинута *гипотеза* о том, что такое изменение численности вызвано одним и тем же фактором во всех трёх популяциях. Однако тщательное изучение каждого случая выявило между ними существенные различия.

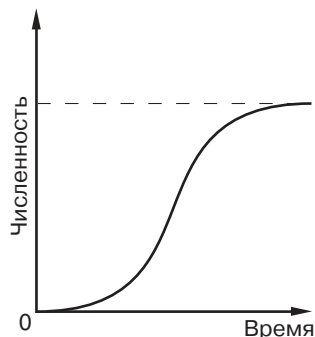


Рис. 1.1

Общая закономерность
роста численности
в экспериментах

Численность дрожжевых клеток перестала расти потому, что в питательной среде накопилось слишком много этилового спирта. Он является продуктом обмена дрожжей и оказывает тормозящее влияние на деление клеток.

Рост популяции мучного хрущака прекратился потому, что в большом скоплении особей резко возросла интенсивность каннибализма: личинки и взрослые (подвижные стадии), поедающие всё, что находится на их пути, уничтожали неподвижные стадии — яйца и куколок.

Рост популяции (точнее, колонии) мышей прекратился потому, что вследствие частых контактов у особей произошли определённые изменения в поведении и физиологии. В итоге из-за неготовности самок к спариванию резко снизилась рождаемость, кроме того, замедлилось развитие эмбрионов и молодых особей и увеличилась смертность.

Учёный обязан *обосновывать* научную гипотезу имеющимся в данной области науки знанием или новыми научными фактами. При этом гипотеза не должна противоречить уже установленным фактам.

Решающим свойством научных гипотез, как и научного знания вообще, является их *проверяемость*. Проверяемой является та гипотеза, которую можно проверить *эмпирическими методами*. Если средства для её опытного подтверждения или опровержения отсутствуют (например, ещё не изобретены), должна существовать хотя бы *потенциальная* возможность такой проверки.

→ В этом свойстве построены два метода, позволяющие отличить научное знание от ненаучного (например, от религиозных истин) или псевдонаучного (представлений астрологии, психологии, «учения» о биополях и т. п.). Первый — метод *фальсификации гипотез* (от лат. *falsus* — ложный и *fasio* — делю). Это процедура, позволяющая ответить на вопрос о том, можно ли в принципе установить ложность данной гипотезы в результате экспериментальной или теоретической проверки. Только то знание, которое можно опровергнуть, является предметом науки. Астролог, утверждающий, что определённое расположение небесных тел в момент рождения человека особым образом влияет на его жизнь, не рискует быть опровергнутым: его заявление недоклеуемо, следовательно, не имеет отношения к науке.

Второй метод, связанный с первым, называется *верификацией* (от лат. *verificatio* — доказательство, подтверждение). Он собственно заключается в установлении истинности гипотезы в результате её эмпирической проверки.

Методы верификации и фальсификации в полной мере применимы не только к гипотезам, но и к теориям.

Гипотезы, истинность которых доказали многократные эмпирические проверки, как правило, становятся теориями. *Научная теория* является наиболее крупной и полной формой научной мысли. Она обобщает материал, накопленный в эмпирических исследованиях, и без противоречий объясняет обширную область знания. В физике это классическая механика Ньютона, теория относительности Эйнштейна, в биологии — теория эволюции, хромосомная теория наследственности и др.

Существуют *общенаучные теории*, основные положения которых используются практически во всех современных отраслях науки. Такова, например, *теория вероятности*, изучающая общие закономерности массовых случайных явлений в окружающем мире (словом «случайный» обозначают явления, исход которых в настоящий момент невозможно точно предсказать).

Научная теория включает в себя связанные друг с другом законы и правила, совместно объясняющие закономерности, проявляющиеся в описываемой области действительности. Некоторые учёные считают, что факты, открытые благодаря теории или объясняемые ею, должны включаться в теорию. По мнению других исследователей, факты и экспериментальные данные лежат вне теории, они лишь косвенно связаны с ней посредством эмпирических методов познания.

Основные функции теории в науке — не только *описание* и *объяснение*, но и в определённой мере *предсказание* ещё неизвестных фактов. Теория указывает на явления, эффекты, свойства предметов, которые пока не были подтверждены опытной наукой.

Группируя химические элементы в соответствии с их атомной массой и сводя их в общую таблицу, Дмитрий Иванович Менделеев (1834—1907) оставлял в ней пустые ячейки для ещё не открытых элементов и даже описывал свойства некоторых из них. Дальнейшее развитие науки подтвердило правильность учения Менделеева о периодичности.

Обнаружение предсказанных фактов служит подтверждением истинности и эффективности теории. В то же время расхождение между теорией и фактами даёт импульс к развитию теории (её уточнению, пересмотру отдельных положений). Иногда эти расхождения приводят учёных к мысли об отказе от теории.

- Существуют научные теории, которые формально следовало бы относить к гипотезам. Учения такого рода описывают особые объекты, их положения невозможно напрямую проверить в эксперименте. Так, например, теория (или гипотеза) Большого взрыва, объясняющая рождение Вселенной. Разумеется, у нас никогда не будет возможности экспериментально доказать её истинность или ложность. В подобных случаях возможен косвенная верификация, основанная на результатах математического моделирования, применении методов логики и других методов (см. ниже) и согласованная с основными положениями современной науки. Тем не менее в научной литературе исторически сложился и используется термин «теория Большого взрыва».

Приёмы и правила мышления

Чтобы выдвинуть и проверить научную гипотезу, исследователю необходимо произвести ряд мыслительных процедур. Мы часто используем их и в обыденной жизни, но редко осознаём это. Наиболее простыми из них являются анализ, синтез и абстрагирование.

Анализ — мысленное или реальное расчленение предмета на составляющие его части. Расчленение даёт возможность перейти от познания целого к изучению его частей. Аналитические методы являются составной частью всякого научного исследования. Они необходимы, когда исследователь переходит от общего описания изучаемого объекта к выявлению его строения, состава, а также его внутренних свойств и признаков.

Синтез тесно связан с анализом и представляет собой соединение различных элементов предмета в единое целое (систему). В синтезе происходит обобщение выделенных аналитическим путём и изученных особенностей объекта. Знания, получаемые в результате синтеза, способствуют созданию гипотез и теорий, охватывающих изучаемый объект. Без синтеза невозможно действительно научное познание предмета.

Согласно описанию знаменитого французского энтомолога и писателя Жана Анри Фабра (1823—1915), у кузнечика эфиппигеры (*Ephippiger sp.*) отсутствуют крылья, а надкрылья изменены: они сильно уменьшены и превратились в две вогнутые чешуи, вложенные одна в другую. На нижней стороне левой верхней чешуи находится звуковой аппарат — зубчатый смычок (рис. 1.2). Таким образом, анализ морфологии эфиппигеры позволяет составить синтетическое представление о том, каким образом кузнечик издаёт звуки.

Абстрагирование — мысленное отвлечение от частных свойств, связей и отношений изучаемого объекта. Результатом абстракции становится *абстрактный объект*, аналогичный действительному объекту, но лишённый множества его индивидуальных черт. Так, понятия «вид» и «популяция» являются абстрактными аналогами реальных совокупностей организмов, каждая из которых отличается своими индивидуальными особенностями.

Помимо указанных мыслительных процедур, в научно-исследовательской работе используют и такие методы, которые позволяют вывести новое знание из того, которое имеется в распоряжении.

Индукция (от лат. *inductio* — наведение, навожу) — выводение знания переходом от единичного и частного к общему. Вывод об общих свойствах всех предметов, относящихся к данному классу, делают после обобщения большого количества единичных фактов. Под «данном классом» понимают однородную группу объектов, подлежащих изучению. В биоэкологических исследованиях это могут быть виды растений, животных, микроорганизмов, почвенные объекты и т. д. Такую группу называют **генеральной совокупностью**. Индуктивное обобщение возможно в том случае, если признаки проявляются в той или иной мере у всех предметов, относящихся к изучаемой генеральной совокупности.

Различают полную и неполную индукцию. Когда мы совершаем **полную индукцию**, то строим вывод, опираясь на факты *о всех* предметах или явлениях данной генеральной совокупности. Суммарное число предметов в изучаемой генеральной совокупности называют **объёмом генеральной совокупности**. В результате полной индукции полученное умозаключение имеет характер **достоверного вывода**.

Если в конце учебного года мы просматриваем классный журнал и не обнаруживаем ни одной неудовлетворительной четвертной или полугодовой оценки, то мы можем сделать достоверный вывод: в данном учебном году в данном классе успеваемость учеников составляет 100%.

Оборотной стороной такого метода является практически полное отсутствие нового знания. Невелико открытие, если мы от констатации фактов: «У Иванова нет двоек», «У Петровой нет двоек» — и так до конца списка уча-

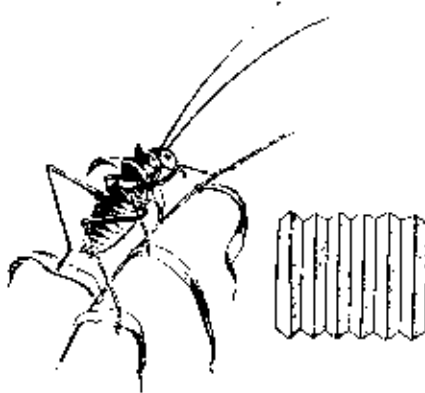


Рис. 1.2

Кузнечик эфиппигера и фрагмент его звукового аппарата (по Ж.-А. Фабру, 2001)

щихся в журнале — переходим к утверждению: «Класс является успевающим на 100%».

В научных исследованиях гораздо чаще используют *неполную индукцию*, когда переход от единичного к общему совершается после исследования *лишь части* генеральной совокупности — **выборки** из неё. В этом случае мы, естественно, не знаем, является ли вывод, полученный таким образом, абсолютно достоверным. Он может впоследствии оказаться неверным — опровергнутым новыми данными, которые противоречат произведённому индуктивному обобщению. О достоверности этого вывода можно говорить лишь с *определённой долей вероятности*. Разумеется, неполная индукция должна иметь научный характер: её следует проводить при сопоставлении общих (а не индивидуальных) свойств объектов. Число обследованных предметов в выборке из генеральной совокупности называют **объёмом выборки**. Только достаточно большая (объёмная) выборка даёт уверенность в том, что свойства, обнаруженные у изучаемых объектов, являются общими для всех остальных предметов или явлений, относящихся к данной генеральной совокупности. Для проверки достоверности сделанного вывода применяют методы **математической статистики** (раздела математики, посвящённого статистической обработке и оценке полученных данных). Статистические методы основываются на *теории вероятности* (см. подробнее 1.4).

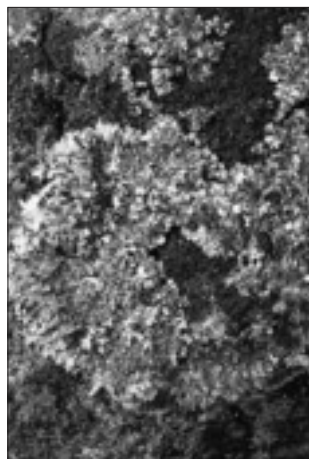


Рис. 1.3

Лишайник на коре дерева

В исследованиях интенсивности заселения деревьев лишайниками (рис. 1.3) в нескольких местах к дереву прикладывают *палетку* (расчерченный на равные квадраты прозрачный лист) и подсчитывают соотношение квадратов, занятых лишайником, и свободных квадратов. Затем проводят статистическую обработку данных (проверяют достоверность полученного результата) и, наконец, делают заключение о том, какая часть поверхности *всего* дерева покрыта лишайником.

Дедукция (от лат. *deductio* — выведение, вывод) — метод научного познания, который заключается в переходе от общих посылок к частным результатам (следствиям). Получение вывода методом дедукции строится по следующей схеме: «Все предметы класса *A* обладают свойством *b*. Предмет *a* относится к классу *A*. Следовательно, предмет *a* обладает свойством *b*».

Практически это может выглядеть как применение общих знаний к конкретному случаю. Если мы уверены, что все домашние собаки выполняют функции стража жилища и защитника хозяев, а также что собаки породы той-терьер (рис. 1.4) относятся к домашним собакам, то можно сделать достоверный вывод: той-терьер выполняет те же функции стража и защитника, что и, например, немецкая овчарка.



Рис. 1.4

Щенок той-терьера

Дедукция знакома нам как метод расследования преступлений знаменитого персонажа Артура Конан Дойла — сыщика Шерлока Холмса. Однако дедукцию очень широко применяют и для научных «расследований» с привлечением более строгой информации. В науке метод дедукции используют для выведения следствий из научных положений и законов. Если мы знаем, что данное животное относится к классу млекопитающих, мы можем сделать вывод о том, что у него четырёхкамерное сердце и семь шейных позвонков, поскольку известно, что все млекопитающие имеют такие признаки.

Задание*

Вставьте пропущенное суждение, необходимое для получения строгого дедуктивного вывода.

- а) «Ни одно насекомое не является млекопитающим»;
- б) «...»;
- в) «Муха-дрозофила не является млекопитающим».

Часто в науке используют **аналогию**. При этом происходит перенос знания, полученного при исследовании одного объекта, на другой объект, изучаемый в данный момент. Метод аналогии основан на сходстве предметов или явлений по ряду признаков, что позволяет получить вполне достоверные знания об изучаемом предмете.

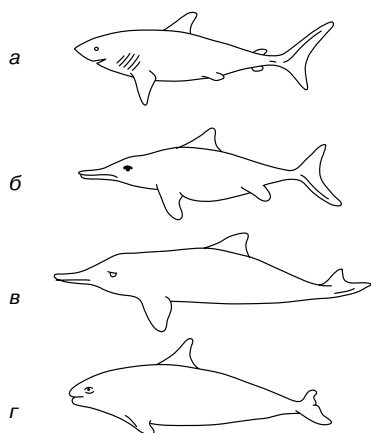


Рис. 1.5

Сходство внешнего облика позвоночных — обитателей морей:
а — акула; б — ихтиозавр;
в, г — два вида дельфинов

Известно, что строение тел современных акул, дельфинов и ихтиозавров (жили в мезозойскую эру) обладает рядом общих признаков (рис. 1.5). Акулы и дельфины обитают в морях и океанах. Поэтому учёные по аналогичным общим признакам сделали вывод, что ихтиозавры также являлись морскими животными.

Существуют два уровня научного познания — теоретический и эмпирический. Исследователь использует методы и того и другого уровня: эмпирическое познание позволяет накопить научные факты и обнаружить реальные закономерности, а теоретическое — даёт возможность на основе полученных данных разработать, уточнить или обновить научные гипотезы и теории, которые составляют современную научную картину мира. В арсенале естествоиспытателя имеется несколько методов эмпирического познания окружающего мира, но основными являются эксперимент и наблюдение.



ВОПРОСЫ ДЛЯ КОНТРОЛЯ

1. Можно ли назвать научным наблюдение, которое ведёт за жильцами подъезда сидящая на скамейке старушка? Ответ обоснуйте.
- 2.* Установите соответствие между понятиями в левом и правом столбцах:

а) дедукция; б) индукция; в) фальсификация; г) научный факт; д) синтез.	1) принцип опровержимости научной теории; 2) результат эмпирического научного исследования; 3) вывод от единичного и частного к общему; 4) соединение знаний, полученных с помощью анализа; 5) вывод от общего к частному и единичному.
---	---

- 3.*** Подумайте, чем отличается ненаучное (обыденное) познание от псевдонаучных учений. На основе известных вам телепередач и статей в газетах и журналах приведите примеры лженаучных теорий. Безобидны или опасны подобные учения, выдаваемые авторами за «непризнанные открытия»?



ТЕСТОВЫЕ ЗАДАНИЯ

1. Научную форму мысли, обладающую наибольшей общностью и без противоречий объясняющую обширную общность знаний, называют:
 - а) научной гипотезой; в) научной абстракцией;
 - б) научным понятием; г) научной теорией.
2. Сумму знаний, отражающую существенные стороны и связи определённого явления, процесса или объекта, называют:
 - а) научным понятием; в) научной гипотезой;
 - б) научным суждением; г) научной теорией.
3. Способ изучения объектов, при котором исследователь задаёт условия, называют:
 - а) наблюдением; в) измерением;
 - б) экспериментом; г) учётом.
4. Согласно Менделю, при скрещивании двух гомозиготных особей, отличающихся друг от друга по двум и более парам альтернативных признаков, гены и соответствующие им признаки наследуются независимо друг от друга и комбинируются во всех возможных сочетаниях. Это положение Менделя является:
 - а) обоснованной научной гипотезой;
 - б) научным понятием;
 - в) ненаучной формой знания;
 - г) проверенным научным фактом, имеющим статус эмпирического закона.
5. Метод познания, при котором происходит перенос знания, полученного при исследовании одного объекта, на другой объект, называют:
 - а) абстрагированием; в) дедукцией;
 - б) аналогией; г) синтезом.



**ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ СВЕДЕНИЯ: НАБЛЮДЕНИЯ И ЭКСПЕРИМЕНТЫ
В БИОЛОГИЧЕСКИХ И ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЯХ**

Все биоэкологические эксперименты можно разделить на два основных типа. **Лабораторные эксперименты** — исследования, осуществляемые в лаборатории (рис. 1.6, а). Лабораторные опыты проводят в обычных (комнатных) или в строго регулируемых условиях — термостатах, боксах, климатических камерах и т. д. В большинстве лабораторных опытов изучают *влияние различных факторов* на объекты и явления. **Полевые эксперименты** — исследования, осуществляемые в полевой обстановке на специально выделенном участке (рис. 1.6, б). Как правило, полевой опыт применяют для *количественной оценки действия различных факторов* на изучаемые объекты. Количественное оценивание позволяет сравнить результаты разных вариантов эксперимента.



а



б

Рис. 1.6

Варианты биоэкологических экспериментов: а — лабораторный эксперимент; б — отбор образцов в полевых условиях

В биоэкологических исследованиях широко применяют также **лабораторные и полевые наблюдения**. Они включают разнообразные анализы почвы и растений, воды, воздуха и других компонентов экосистем в лабораторных и полевых условиях, а также различные наблюдения и учёты численности организмов в экосистемах. Часто такие наблюдения включают элементы опыта.

Учётом называют опосредованную оценку численности животных или растительных объектов, которую проводят по специально разработанным методикам в определённое время года.

В зимний период организуют **маршрутные учёты** (учёты на маршрутах) млекопитающих. В пределах изучаемого района (например, заповедника) с помощью карты закладывают маршрут. Учётчик должен пройти его в течение

нескольких часов и подсчитать число цепочек следов на снегу, пересекающих траекторию его движения (разумеется, ему необходимо уметь определять вид животного по следам). По результатам учёта находят приблизительную численность животных, населяющих всю область. В период гнездования (весной — летом) при помощи маршрутных учётов оценивают численность птиц, подсчитывая количество услышанных песен или криков.

На том же принципе основаны *учёты на пробных площадках*. С их помощью определяют численность птиц, млекопитающих, насекомых, а также состав растительных сообществ. При помощи карты или на местности выбирают и размечают несколько участков, которые будут достаточно точно представлять территорию, и подсчитывают количество изучаемых объектов. По результатам учёта оценивают численность животных, соотношение видов растений и т. д. на всей территории.

Весной можно в ходе прямого наблюдения подсчитать количество токующих тетеревов и глухарей на токах, а численность фазанов оценить по крикам самцов. В летний период учитывают количество водоплавающих птиц, перепелов, рябчиков по числу выводков, а бобров и ондатр — по хаткам и норам (при обследовании заводей и берегов водоёмов). Осенью наблюдают и оценивают стаи перелётных птиц. В лесных и охотничьих хозяйствах, а также на заповедных территориях учёты очень важны, и там их проводят регулярно.

Лабораторные и полевые наблюдения могут иметь самостоятельное значение, но гораздо чаще являются частью более широких исследований. Например, наблюдения за погодными условиями и сезонными изменениями можно выполнить как самостоятельные исследования на метеостанции. Вместе с изучением свойств почвы, химического состава растений и оценкой качества урожая такие наблюдения являются необходимой составляющей агрономических исследований и имеют особое значение при проведении полевых опытов.

В прикладной экологии большое значение имеет *мониторинг* — система наблюдений за состоянием окружающей среды, его оценка, контроль и прогноз. Мониторинговые исследования — всегда повторяющиеся, часто комплексные и довольно масштабные. В них широко применяют различные виды анализов почв, воздуха, воды, разные способы оценки качественного и количественного состава и физиологического состояния микро- и макрофлоры и фауны, особенно видов, являющихся биоиндикаторами качества природной среды.



ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ СВЕДЕНИЯ: МЕТОДЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ

Предметное моделирование (моделирование объектов) в науке означает исследование поведения модели, которая воспроизводит физические, динамические, геометрические или функциональные характеристики объекта-оригинала. К такому виду моделирования относят, например, испытание

уменьшенной копии парусного судна в бассейне в искусственно созданных и регулируемых условиях — при заданных силе и направлении ветра.

В экологических исследованиях часто используют предметные модели экосистем той или иной сложности. Простейшей предметной моделью такого рода является аквариум (см. также дополнительные сведения к 4.1).

Менее связано с внешним видом оригинала **знаковое** и **мысленное моделирование** — это использование схем, формул, чертежей объектов.

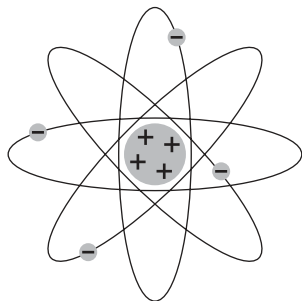


Рис. 1.7

Модель атома
Резерфорда

Знаковыми моделями, например, являются модели атомов и молекул (рис. 1.7), географические карты, световая карта звездного неба в планетарии. В экологии в качестве знаковых моделей можно рассматривать, например, схемы пищевых сетей в сообществе (см. 4.1), модели поступления и расходования энергии (см. 4.2) и т. д.

Широкое распространение в современной науке получил **модельный эксперимент** с использованием компьютеров. В качестве модели выступает программа, которая одновременно является и средством, и объектом экспериментального исследования, заменяющими оригинал (см. также гл. 6).

Все компьютерные модели по сути являются **математическими моделями**. **Математическое моделирование** чаще всего используют при изучении популяций и сообществ: для расчёта численности и смертности, составления прогнозов поведения тех или иных популяций, при расчёте балансов поступления и потери тех или иных веществ.

1.2. Основные принципы организации исследования

С момента появления на свет человек исследует окружающий мир, приобретает практический опыт и знания, которые использует в жизни. «Чтобы познать что-либо, следует ответить на четыре вопроса: „Есть ли это?“, „Что это?“, „Каково это?“, „Почему это?“». Данное высказывание Исаака аль-Кинди, арабского философа IX в., отражает суть процесса познания и основную цель исследователя. Средневековый философ и алхимик Роджер Бэкон, монах ордена францисканцев, прозванный за широчайшие познания «чудесным доктором», писал: «Выше всех умозрительных знаний и искусств стоит умение производить опыты. И эта наука есть царица наук». Каждый исследователь, желающий получать новые знания, должен овладеть этой наукой.

Специфик экологических исследований

Объекты и явления, изучаемые в экологии, сложны и многообразны. Поэтому экологические исследования обычно комплексные: они включают не только эксперимент, но и изучение теории. В большинстве случаев опытом является единственно возможным способом решения поставленной задачи и критерием истинности теоретических выводов.

Главная особенность любого точного научного опыта — его **воспроизводимость**, т. е. возможность повторить эксперимент и получить сходный результат.

Научное биоэкологическое исследование обычно состоит из трёх основных этапов: 1) планирования и подготовки; 2) проведения экспериментов, наблюдений, анализов и т. д.; 3) обработки и обобщения полученных данных.

Самой трудной и ответственной частью исследования является его *планирование и подготовка*. Сначала необходимо определить цели, задачи и объект исследования. Обычно учёные исходят либо из *объекта исследования* и подбирают к нему темы для всестороннего познания выбранного организма, популяции или сообщества, либо, наоборот, сначала определяют *тему исследования*, а затем подбирают объекты, позволяющие изучить интересующую проблему, явление или закономерность. Далее необходимо разработать *схему опыта* и выбрать условия его проведения (помещение, участок и т. д.).

Ошибки, допущенные на первом этапе исследования, нельзя исправить ни тщательностью проведения опыта, ни применением дорогостоящих методик, ни статистической обработкой данных (см. 1.4). *Результатом исследования* являются теоретические выводы и рекомендации по применению их на практике.

Планирование и подготовка исследования

Выбор темы исследования

Успешность проведения исследования во многом зависит от правильного выбора темы и точной постановки целей и задач. При выборе темы следует руководствоваться своими интересами и возможностями, такими как уровень своей подготовленности как исследователя, оснащённость материалом и оборудованием, доступность объектов исследования, сроки, отводимые на выполнение исследования.

Тему «Влияние температуры на живые организмы» или «Действие экологических факторов на численность популяции насекомых» невозможно разработать в рамках одного школьного исследования. Чтобы сделать тему *доступной*, необходимо уточнить объект исследования и выбрать какое-либо его свойство, которое можно оценить в ходе исследования.

Тема эксперимента или наблюдения должна отвечать трём обязательным требованиям: 1) быть чётко сформулированной; 2) отражать сущность исследованной проблемы; 3) подразумевать практическую ценность получаемых в исследовании результатов. При выборе темы исследования необходимо ответить на вопросы: «Почему интересно выполнить именно это исследование?», «Насколько оно актуально?», «Какова его практическая ценность?».

Постановка цели и задач исследования

При постановке цели исследователь отвечает на вопрос о том, что он хочет узнать в ходе работы. Один опыт, одно исследование должны быть ограничены рамками единственного вопроса. Довольно часто встречается такая ошибка: цель исследования формулируют в общем виде. Это нередко затрудняет или вовсе делает невозможным её достижение в пределах одного опыта.

Достижение цели «Проведение мониторинга городских водоёмов» не по силам даже исследовательскому коллективу. Чтобы сделать эту цель *достижимой*, необходимо её уточнить: выбрать конкретный водоём или его часть и определённые методы мониторинга. Уточнённую цель можно сформулировать так: «Провести биоиндикацию реки Охты с помощью анализа видового состава и состояния водорослей».

Во время продвижения к цели исследования экспериментатор решает несколько конкретных *задач исследования*, поэтому ход исследования можно представить как последовательность нескольких этапов. На каждом этапе исследователь решает одну заранее поставленную задачу.

Цель исследования должна быть конкретной, чётко сформулированной и в полной мере отражать сущность исследования, а поставленные задачи должны быть доступными, т. е. должны соответствовать уровню знаний исследователя и материально-техническому оснащению.

Выбор объекта исследования

Объекты биоэкологических исследований — это живые системы (организм, популяция, экосистема) или явления (механизмы действия каких-либо факторов, различные процессы), которые изучает исследователь. Объект исследования должен быть безопасным для жизни и здоровья исследователя. Например, не следует выбирать для изучения ядовитые растения. Также не рекомендуется проводить школьное исследование на редких организмах, занесённых в Красную книгу, на уникальных сообществах, являющихся памятниками природы или расположенных на территории заповедников и других охраняемых территорий. Другими словами, объект исследования должен быть *доступным*.



а



б



в



г

Рис. 1.8

Объекты, доступные и недоступные для школьного исследования:

- а — джунгарские хомячки (*Phodopus sungorus*);
 б — гадюка обыкновенная (*Vipera berus*);
 в — кувшинка снежно-белая (*Nymphaea candida*);
 г — пшеница (*Triticum sp.*)

■ Задание*

Определите, какие из объектов, изображённых на рисунке 1.8, могут быть использованы в школьных исследованиях, а какие — нет, и объясните почему.

Объект исследования должен быть *адекватным*, т. е. должен отвечать цели исследования. Если работа посвящена изучению естественной флоры какого-либо района Ленинградской области, тогда нужно выбирать такой вид (или растительное сообщество), который достаточно широко распространён в данной климатической зоне. Если для достижения цели исследования необходимо изучить группу объектов и сравнить их по какому-либо свойству (признаку), то данный признак должен присутствовать у всех объектов в группе. Степень проявления этого свойства у объектов в обычных условиях должна иметь примерно одинаковый порядок.

При изучении плодородия почв разных территорий их сравнивают по содержанию перегноя (гумуса) в верхних слоях, наиболее богатых органическими веществами. В таких исследованиях почти никогда не сравни-

вают между собой подгумусные (минеральные) слои, в которых содержание перегноя в тысячи раз меньше, а тем более — гумусный слой одного участка и минеральный слой другого участка.

При исследовании групп объектов целесообразно проводить опыты и наблюдения на более или менее *однородных* объектах.

Чтобы изучить влияние тяжёлых металлов на прорастание семян, в лаборатории выращивают много растений определённого сорта, а затем отбирают необходимое число семян, наиболее однородных по размерам, массе или другим признакам (для этого просеивают семена через сито). Как правило, размер отобранной для исследования пробы составляет 100—200 штук.

Анализ литературных источников и выдвижение рабочей гипотезы

Учёному важно представлять себе, насколько хорошо изучена интересующая его проблема, чтобы по незнанию не повторить работу и результаты тех, кто уже занимался подобным исследованием. Ему необходимо собрать и критически проанализировать имеющуюся в литературных источниках информацию *по теме и объекту исследования*.

При планировании эксперимента, в котором исследователь изучает действие лекарственного препарата на плодовую мушку-дрозофилу (*Drosophila melanogaster*), целесообразно изучить литературу, предоставляющую сведения о том, какие дозы лекарственного препарата уже были опробованы и какие результаты были получены, какова методика постановки тестовых экспериментов и т. д. Эта информация пригодится для разработки *схемы эксперимента*. Дрозофила — хорошо изученный объект. На ней поставлено довольно много различных экспериментов.

В этот период исследователь примерно оценивает соотношение известных и неизвестных сведений. У него вырабатывается чёткое отношение к уже известным фактам, к идеям и гипотезам авторов литературных данных. Это даёт возможность разработать собственную *рабочую гипотезу* или ряд конкурирующих рабочих гипотез.

Рабочая гипотеза — это предсказуемое, проверяемое и логичное научное предположение о явлении. Иначе говоря, выдвигая рабочую гипотезу, исследователь может на её основании заранее с определённой долей вероятности предсказать и объяснить результаты, которые он ожидает получить в планируе-

мом опыте. Исследователь также предполагает возможность доказательства своей рабочей гипотезы: он знает способ её проверки. Кроме того, выводы, которые он делает, не должны противоречить научным фактам.

Составление программы исследования

В соответствии с рабочей гипотезой исследователь составляет план работ с указанием ориентировочных сроков и намечает ход решения первоочередных задач. Он разрабатывает **программу исследования** — поэтапное описание действий при проведении исследования. В программе указывают схемы опытов, основные методики экспериментов, наблюдений и учётов.

Составление **схемы опыта** — наиболее сложная задача. От качества ее выполнения в значительной степени зависят успех исследования и возможность применения на практике полученных результатов. В схеме опыта описывают всевозможные варианты опыта.

Каждый вариант опыта — это одна или несколько совокупностей растений на участке (делянке, учётной площадке), пар мух-дрозофил в пробирках, образцов почвы. Число таких одноимённых единиц варианта опыта (число участков, число пробирок с парами мух и т. д.) называют **повторностью**.

Для сравнительного анализа чистоты воздуха в классном помещении засевали агаровые пластинки в чашках Петри микроорганизмами в разное время суток (8 : 30, 10 : 30, 12 : 30, 14 : 30, 16 : 30). Таким образом, заложили пять **опытных вариантов**. При этом в каждый из названных часов засевали по четыре чашки Петри. Это значит, что каждый из вариантов опыта «повторили» четыре раза, т. е. в данном исследовании повторность опыта была четырёхкратной.

Варианты опыта могут быть *качественными* (виды (сорта) растений, виды (породы) животных, штаммы микроорганизмов или грибов, способы обработки почвы и т. п.) и *количественными* (дозы удобрений и других препаратов, длительность периодов освещённости и затенения и т. п.).

Две любые повторности, осуществлённые одним исследователем, никогда не будут абсолютно одинаковыми, даже если экспериментатор строго соблюдает методику эксперимента. В реальных условиях всегда присутствует *фактор случайности*, который мы не в состоянии контролировать. В вышеприведённом примере четыре одинаковые пробы, взятые в одно и то же время (четыре повторности), содержат разные количества микроорганизмов. Две пары мух, содержащихся при одинаковой температуре, могут отложить разное число яиц. Повторности варианта опыта позволяют оценить *величину случайной ошибки* и учесть её при обработке результатов (см. ниже).

—▶ Число опытных вариантов в схеме любого опыта, как правило, зависит от его содержания и поставленных задач. Обычно стремятся к тому, чтобы в опыте было не более 8—12 вариантов. Если количество вариантов превышает 12, то вероятность появления случайных ошибок в эксперименте очень высока. Если вариантов мало (два или три), необходимо заложить большее число повторностей, чтобы иметь достаточно точное общее число наблюдений для правильного оценивания *ошибки опыта*.

Если в опытах изучают влияние одного фактора (например, воздействие освещённости на прорастание проростков или влияние температуры на плодовитость дрозофилы), проводят четыре — шесть повторностей (четыре чашки Петри для каждого варианта в эксперименте и микроорганизмов и шесть пробирок с парами мух для каждого варианта при культивировании дрозофил).

В каждой схеме опыта обязательно должен присутствовать **контрольный вариант**, или **контроль** (стандарт), с которым сравнивают все опытные варианты. Обычно в экспериментах по изучению действия какого-либо фактора для контроля выбирают тот вариант, в котором действие этого фактора исключено или находится в обычных пределах (в вышеупомянутом анализе содержания микроорганизмов в воздухе четыре чашки Петри контрольного варианта не засеивали вовсе).

При изучении действия теплового шока на плодовитость дрозофилы опытный вариант перед спариванием мух помещали на два часа в термостат (аппарат для поддержания постоянной температуры), где сохранялась температура 40 °С, а контрольный вариант содержали только при комнатной температуре.

Контрольный вариант опыта помогает выяснить, действительно ли разные дозы исследуемого фактора оказывают различное влияние на объект исследования или расхождение между результатами опытных вариантов мнимое.

Для правильной постановки опыта (наблюдения) необходимо соблюдать *правило единственного различия*: нужно выдерживать единство всех условий, кроме того, которое изучают. Выполнение этого правила позволяет сравнивать данные разных вариантов опыта и даёт право утверждать, что обнаруженные различия определяются изучаемым фактором.

В лабораторном опыте по изучению действия солей тяжёлых металлов на растения единственным различием между вариантами должен быть только состав растворов солей, которыми поливают растения. Все

остальные условия опыта (состав и способ обработки почвы, вид или сорт растения, объём раствора, сроки посева, уход за растениями, концентрация растворов солей) должны быть одинаковыми.

Чтобы убедиться в достоверности результатов опыта, исследователю необходимо выяснить, каковы сопутствующие неизучаемые условия эксперимента (наблюдения), и отметить их в отчёте.

При подборе *основных методик эксперимента* необходимо соблюдать следующие требования.

1. Методика должна быть *адекватной* (т. е. должна соответствовать целям и объекту исследования).

Оценку содержания хлорофилла в растительных и почвенных образцах выполняют по разным методикам, так как в этих случаях существенно различаются процедуры отбора и подготовки проб.

В опытах с различными объектами могут быть свои тонкости. Чтобы правильно задать дозы изучаемого фактора в опытных вариантах, необходимо опираться на литературные источники, описывающие и выбранный объект, и исследуемый фактор. Контрольный вариант также может иметь свои особенности. Поэтому при знакомстве с литературой нужно обратить внимание на способ определения контроля в опытах, подобных планируемому.

В экспериментах с использованием пестицидов для опрыскивания растений контрольным служит вариант без применения химического препарата. Однако для создания одинаковых условий во всех повторностях растения контрольного варианта опрыскивают чистой водой без пестицидов.

2. *Чувствительность* методики должна быть такой, чтобы с её помощью можно было обнаружить исследуемые различия.

Если размеры семян исследуемых растений различаются на доли миллиметра, то для их измерения нельзя использовать линейку со шкалой, в которой цена деления составляет 1 мм.

3. Методика должна быть *безопасной* для жизни и здоровья исследователя.

В научных исследованиях образцов почвы пигменты принято экстрагировать (извлекать) смесью этилового спирта и бензола. Такая методика

в школе неприемлема, так как бензол обладает канцерогенными свойствами и легко возгорается. Поэтому используют другую методику с применением чистого этилового спирта.

Проведение исследований

Документирование исследования

Научные отчёты, опубликованные статьи и тезисы, дипломные работы, диссертации и т. д. — это *основная* (сводная) *документация исследования*. Ей предшествует *первичная документация*, к которой относят дневник исследования (журнал опыта).

Дневник исследования (журнал опыта) — это тетрадь (блокнот), желательна в жёсткой обложке, удобная для ношения в кармане или полевой сумке. Объём дневника должен быть достаточным для записи всех наблюдений и результатов опыта. Он должен содержать всю исходную информацию об исследовании: о теме, цели, задачах, рабочей гипотезе, сроках выполнения и программе исследования (о методиках, контроле, опытных вариантах и повторностях).

В дневнике исследования в порядке выполнения записывают все работы по закладке, организации и проведению опыта (наблюдения), уточняя объём и качество проделанной работы, применяемые инструменты и т. д.

В лабораторных опытах на дрозофиле необходимо отметить состав и способ приготовления питательной среды, способ содержания мух (индивидуальный или групповой), описать количественный и качественный состав образцов для опыта (т. е. указать, какие линии мух и в каком количестве используют в эксперименте), способ обработки и дозы изучаемого фактора, способ учёта результатов опыта. При этом отмечают время проведения этапов работы.

➡ При полевых исследованиях в дневнике обычно фиксируют метеорологические условия, обязательно отмечают экстремальные природные явления (град, ураган, ливень, сильные морозы и т. д.), для живых организмов — порожённость болезнями и вредителями.

В случае необходимости в дневнике следует делать зарисовки или размещать фотографии исследуемых объектов, если это возможно (рис. 1.9). Если фотографии будут использованы как научный документ, следует указать условия съёмки: варианты и повторности, масштаб объекта, увеличение, качество фотоматериалов (название фотоаппарата, плёнки, бумаги) и т. п.

В аналогичной последовательности записывают все результаты исследования, используя для этого соответствующие формы (например, таблицы).

При ведении документации нужно помнить, что в исследовательской работе не бывает мелочей. Любые на первый взгляд малозначительные замечания могут пригодиться при анализе данных и формулировании выводов.

По завершении опыта записывают текущие результаты обработки данных, предварительные выводы и предположения о верности рабочей гипотезы.

Ошибки в исследовании

При проведении опыта экспериментатор обычно сталкивается с ошибками разных видов. **Ошибка опыта** — это расхождение между результатами опыта (наблюдения) и истинным значением изучаемого признака. Выделяют три основных вида ошибок.

Случайные ошибки — это погрешности, возникающие по самым разным случайным причинам. Как бы тщательно ни было проведено исследование, случайные ошибки неизбежны, и абсолютно точные результаты получить нельзя. Влияние единичной случайной ошибки такое незначительное, что его невозможно выделить и учесть по отдельности. Тем не менее дальнейшая обработка результатов исследования методами *математической статистики* позволяет оценить общее негативное действие случайных ошибок.

Следует помнить, что значения признака, измеряемые в опыте, могут в силу случайности отличаться от истинного значения как в большую, так и в меньшую сторону с равной вероятностью. При суммировании результатов опыта такие случайные отклонения *взаимно погашаются*. Поэтому чем больше наблюдений проведено, тем ниже величина случайной ошибки в результатах опыта.

Систематические ошибки искажают изучаемую величину в сторону увеличения или уменьшения и возникают как следствие какого-либо определённого обстоятельства. Часто этим обстоятельством является действие некоторого неизучаемого в данном эксперименте фактора.

Плодородие почвы может повлиять на результаты полевого опыта на растениях. Поэтому при выборе участков для сбора данных необходимо убедиться, что они равноценны по упомянутому показателю.

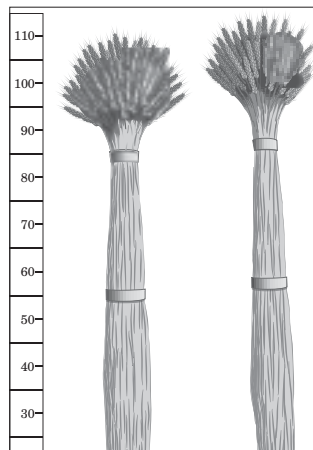


Рис. 1.9

Фотография результата опыта по выращиванию двух сортов пшеницы

Характерная особенность систематических ошибок — их *однонаправленность*: они либо только завышают, либо только занижают получаемые данные. Такие ошибки, в отличие от случайных, не имеют свойства взаимно погашаться и входят в результаты отдельных наблюдений и в средние показатели. Их влияние можно снизить или исключить путём выбора правильной методики.

Грубые ошибки — это промахи исследователя, возникающие чаще всего при нарушении основных требований к проведению опыта или наблюдения, из-за недосмотра или при неумелом выполнении работ.

Грубая ошибка появляется, если исследователь, например, при изучении действия солей тяжёлых металлов на растения нечаянно дважды вносит порцию раствора соли в один из вариантов, или путает варианты при взвешивании, или неправильно записывает полученные данные.

Грубые ошибки не могут быть компенсированы ни при каких условиях. Исследователь вынужден забраковать полученные данные и повторить отдельные варианты или весь опыт. Можно избежать грубых ошибок, продумав организацию и тщательно проведя исследование. Для дальнейшей обработки и формулирования обоснованных выводов можно использовать только такие данные, которые не содержат грубых и систематических ошибок.

Обработка результатов и завершение исследования

Результаты наблюдений (экспериментов) подвергают статистической обработке, оформляют в виде таблиц и диаграмм. Данные исследований, представленные таким образом, удобны для обобщения, сравнения, определения характерных свойств изучаемых объектов, выявления закономерностей (в чём и заключается сущность анализа данных исследования).

Каждый этап анализа результатов завершается формулированием вывода. Исследователь сравнивает полученные выводы с рабочей гипотезой и в зависимости от результата принимает или отвергает её. Заключительное суждение — *общий вывод* по проведённому исследованию. Правильно сформулированный общий вывод отвечает на вопрос, который исследователь задавал вначале, формулируя цель исследования.

Завершающий этап исследовательской работы — подготовка основной документации, т. е. литературное оформление результатов исследования в виде *научного отчёта* (см. дополнительные сведения к 1.2), статьи, олимпиадной или конкурсной работы. При литературной обработке результатов исследования необходимо соблюдать общие требования, предъявляемые к любому научному отчёту: наличие ведущей идеи; достоверность приводимых фактов; последовательное, ясное, краткое и убедительное изложение.

→ По завершении работы исследователь обычно представляет её результаты аудитории в виде доклада, защиты работы, собеседования и т. д. Для этого исследователь готовит *устное сообщение* продолжительностью 10—15 мин, в котором кратко освещает основное содержание работы: тему, цель и задачи, объект, методы, результаты, выводы и основные литературные источники. Чтобы слушатели лучше воспримут доклад, нужно подготовить *иллюстративный материал*: планшеты, слайды, изображения на плёнке кодоскопа, компьютерную презентацию. В качестве иллюстраций можно использовать таблицы, графики, схемы, фотографии и т. д., вмонтированные в текст рукописи. Для демонстрации иногда используют и дополнительные материалы: образцы почв, коллекции насекомых, гербарии и т. п. На вопросы слушателей обычно отвечают после доклада.

Чтобы получить объективную, научно обоснованную информацию о природных объектах, необходимо провести научное исследование. Данные любой научной работы являются достоверными в том случае, если все основные принципы организации исследования строго выполняются. Результаты исследования становятся доступными и полезными для других только тогда, когда соблюдены общие правила их оформления.

→ ВОПРОСЫ ДЛЯ КОНТРОЛЯ

- 1.** Определите, какова практическая ценность эксперимента по действию солей тяжёлых металлов на растения.
- 2.** Предположите, какие наблюдения, измерения, анализы необходимо произвести для мониторинга пришкольной территории.
- 3.*** Исследователю необходимо определить, как влияет температура на скорость развития дрозофилы. Разработайте программу исследования так, чтобы соблюсти правило единственного различия.

→ ТЕСТОВЫЕ ЗАДАНИЯ

1. При постановке цели работы исследователь отвечает на вопрос:
 - а) для чего он проводит исследование;
 - б) какова практическая ценность его исследования;
 - в) что он хочет узнать в ходе исследования;
 - г) как он будет проводить исследование.

2. Рабочая гипотеза — это:

- а) научное предположение, на котором основано объяснение результатов исследования;
- б) основание, на котором учёный строит научные прогнозы;
- в) суждение, которое основано на научных фактах;
- г) научная теория, согласно которой учёный строит научный прогноз.

3. Разрабатывая схему опыта, исследователь не должен планировать:

- а) больше 2—3 вариантов;
- б) меньше 18—20 вариантов;
- в) меньше 8—12 вариантов;
- г) больше 8—12 вариантов.

4. Грубой не является такая ошибка исследования, как:

- а) ошибка случайного варьирования изучаемого признака;
- б) ошибка измерения признака;
- в) случайная ошибка при вычислениях;
- г) ошибка в записи значений изучаемого признака.



**ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ СВЕДЕНИЯ: СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ
ОТЧЁТА ПО ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЕ**

Рукопись следует оформлять в соответствии с требованиями ГОСТ 7.32-2001 «Отчёт о научно-исследовательской работе. Структура и правила оформления». Отчёт включает несколько разделов, расположенных в чёткой последовательности, один за другим.

1. Титульный лист. Здесь указывают название учреждения, в котором выполнялась работа, тему исследования, автора, научного руководителя (если есть), город, в котором выполнялась работа, год выполнения.

2. Оглавление. Оно включает номера и названия глав, параграфов, пунктов с указанием страниц, где они начинаются.

3. Введение. Здесь должны быть сформулированы общая цель исследования и конкретные задачи, решение которых позволяет достичь поставленной цели. Далее следует общее описание проблемы, на решение которой направлена данная работа. При этом необходимо обосновать актуальность проведённого исследования и его практическую ценность. Чтобы сделать это правильно, нужно сослаться на литературные источники, подтверждающие мнение автора исследования. Кроме того, во введении обычно указывают время и место выполнения работы. Если работу выполнял коллектив, то необходимо описать круг задач, решавшихся каждым участником. Заканчивая введение, указывают сведения об объёме работы: общее количество страниц, число ри-

сунков (графиков, схем), таблиц, приложений, число изученных литературных источников.

4. Литературный обзор. Представляет собой реферат научной и (или) учебной литературы по теме исследования с обязательным соблюдением правил цитирования (см. 1.3) и элементами собственного анализа приводимой информации.

5. Материалы (или объекты) и методы. В этой главе нужно указать материал (объект) исследования и описать место, время и методику отбора образцов (при работе с объектами природных или городских экосистем), особенности морфологии, анатомии, физиологии и т. п., специфику содержания или выращивания (для лабораторных культур и организмов), характеристики и параметры модели (в случае выполнения работы по моделированию). Методы исследования надо излагать кратко, указывая литературные источники; если метод является авторским или малоизвестен, его нужно описать более подробно. В работах по компьютерному моделированию методом исследования считают использование той или иной компьютерной программы. Поэтому краткую информацию о ней следует поместить в данной главе отчёта. Для экспериментальных работ обычно приводят схему опыта и описывают технику его постановки.

6. Результаты и обсуждение. Здесь нужно изложить обработанные результаты исследования. Экспериментальные данные, представленные в виде таблиц, диаграмм, схем, сопровождаются подробными комментариями и пояснениями. При этом сначала выделяют общие закономерности, а потом частные. Для объяснения полученных данных по возможности привлекают литературные источники, в которых описаны сходные результаты. Если таковые отсутствуют, нужно высказать собственное обоснованное предположение, объясняющее полученные факты. Словесное описание результатов необходимо снабдить ссылками на иллюстративный материал, приведённый в отчёте (фотографии, схемы, графики и т. д.).

7. Выводы. В данной главе нужно перечислить главные результаты исследования. Их целесообразно размещать в такой последовательности: сначала более важные и общие, затем второстепенные и частные.

8. Заключение. Содержит рекомендации по использованию результатов исследования на практике, например в природоохранной деятельности или в учебном процессе. Если результаты уже нашли практическое применение, то следует указать, как, где и кем они использованы. В конце заключения указывают основные направления дальнейшего исследования.

9. Список литературы. Включает все литературные источники, которые были использованы в ходе выполнения исследования. На каждый источник, приведённый в списке, должна быть ссылка в тексте отчёта. Список литературы должен быть составлен правильно: в соответствии с требованиями ГОСТ

7.0.5—2008 «Библиографическая ссылка. Общие требования и правила составления» (см. также 1.3).

10. Приложения. Этот раздел включает все материалы, которые были получены или использованы в ходе исследования: дневники наблюдения, промежуточные расчёты, справочные материалы, иллюстрации вспомогательного характера (графики, фотографии и т. д.), схемы опытов, географические карты, описания визуальных наблюдений и т. п. Каждое приложение следует начинать с новой страницы.

1.3. Основы научно-библиографической работы

Любое научное исследование требует серьёзной подготовки, в том числе отбора и знакомства с литературой. Наилучший способ поиска научной информации — работа в библиотеке. История библиотечного дела исчисляется веками. Специалисты-библиографы (от греч. *biblion* — книга и *grapho* — пишу, черчу, рисую) изучают сведения о произведениях печати и к настоящему времени создали стройную систему хранения и поиска книг, которая значительно облегчает ознакомление со всей суммой накопленных знаний.

Библиотечно-библиографическая классификация

Почти все библиотеки нашей страны используют единую **Библиотечно-библиографическую классификацию** изданий (сокращённо ББК). Эта система представляет собой упорядоченное множество таблиц (разделов), в которых отражены все существующие отрасли знаний. Для каждой крупной отрасли предназначена своя таблица (раздел) и свой **индекс ББК**. Структура ББК напоминает матрёшку: внутри раздела (таблицы) находятся другие (тоже дробные) разделы (рис. 1.10). Индексы малых разделов начинаются с цифрового и буквенного обозначения крупного раздела, к которому добавлены буквы и цифры, указывающие точное местоположение — «адрес» этих малых разделов в системе ББК.

➡ Подобным образом организуются системы хранения файлов в компьютере. Главный каталог состоит из папок. В папки вложены файлы или другие папки и т. д.

В научных библиотеках используют подробные классификации изданий, и таблицы ББК составляют 30 томов. В массовых и школьных библиотеках такое детальное описание не требуется, и таблицы собраны в один том.

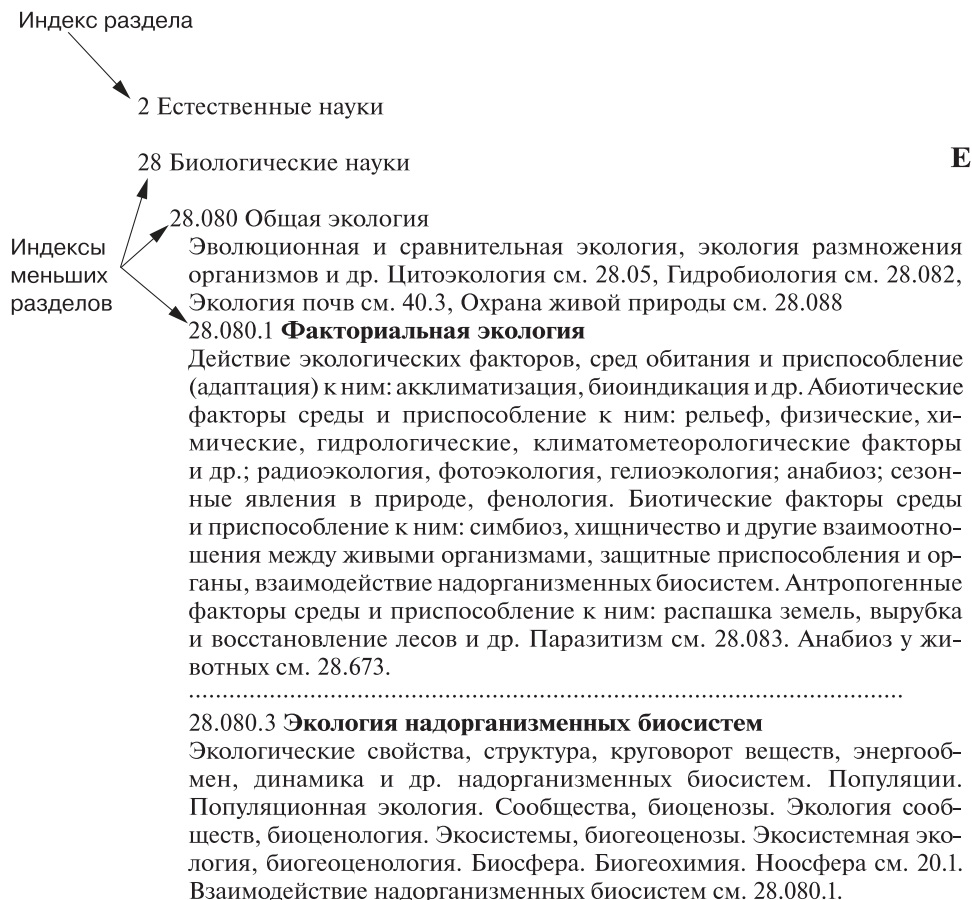


Рис. 1.10

Выдержка из таблицы Библиотечно-библиографической классификации «Естественные науки»

К т логи библиотек

На основе единой классификации изданий каждая библиотека в соответствии с имеющимися фондами составляет перечни книг, статей и других публикаций, имеющихся именно в этой библиотеке. Информацию для поиска книг указывают на карточках и группируют их в виде каталогов изданий.

Если читатель подыскивает информацию об объекте, понятии, отрасли наук, не зная ни конкретного названия книги, ни фамилии автора, он может обратиться к специальному каталогу библиотеки — **алфавитно-предметному**

18585 1992 2)	Очистка сточных вод и газовых выбросов производств лёгкой промышленности / сост. В. И. Александров и др. — М., 1992. — 52 с. — (Механика и энергетика : Обзор. информ. / ЦНИИТЭИлегпром, ИССН 0136-8273 ; № 2). — Библиогр. : с. 51.
В	Александров, В. И. 93-7410 ж РПМ БАНР 1993

Рис. 1.11

Внешний вид карточки систематического каталога

указателю (АПУ). В нём содержится алфавитный перечень отраслей знаний и основных терминов. Карточки АПУ выполняют отсылочную роль: на них указаны индексы разделов *систематического каталога* библиотеки (сокращён-но СК), в которых собраны записи об изданиях, имеющихся в библиотеке.

Карточки, входящие в СК, — это «паспорта» книг. Каждая карточка содержит: точное название книги, фамилии и инициалы авторов или составителей, место и год издания, количество страниц, указание на наличие приложений к изданию и другие сведения (рис. 1.11). Кроме этого, на каталожной карточке записан **шифр издания** — цифровой и буквенный код, по которому можно определить физическое место хранения книги в библиотеке и выяснить её положение в ББК.

Каждый из разделов систематического каталога разделён на подразделы в соответствии с системой ББК. Внутри подразделов карточки расставлены в алфавитном порядке фамилий авторов или заглавий изданий (сборников, журналов и т. п.), зарегистрированных под заглавием. Для того чтобы полнее ознакомиться с литературой по интересующей теме, обычно необходимо просмотреть несколько разделов систематического каталога. Например, если нужно найти литературу, описывающую поведение лягушек, следует просмотреть разделы каталога, посвящённые земноводным, а также экологии, этологии (науки о поведении) и др.

Когда желаемая книга обнаружена и её шифр определён с помощью каталожной карточки, по правилам библиотеки обычно требуется заполнить бланк-заявку на получение книги. По шифру, фамилии автора, названию издания и году его выпуска библиотекарь сможет отыскать книгу в хранилище.

После предварительного знакомства с литературой может понадобиться детальный анализ некоторых публикаций, цитированных или упоминаемых авторами в отобранных изданиях. Например, в учебниках и учебных пособиях часто приводят списки рекомендуемых книг по теме, а в научных трудах содержатся списки литературы, на которую автор ссылается в тексте. Авторы специ-

альных изданий часто приводят ссылки на источники, откуда они заимствовали мнение или цитату. Поскольку в списках литературы и ссылках указаны фамилии авторов и названия изданий (см. ниже), читатель может воспользоваться **алфавитным каталогом (АК)**.

Карточки в АК расставлены в алфавитном порядке фамилий авторов (если книга написана одним автором), наименований коллективов (если работу выпустила организация) и заглавий изданий (если книга, к примеру, является сборником и авторы не указаны на обложке).

Карточки для книг, написанных авторами-однофамильцами, расставлены в алфавитном порядке инициалов авторов. Одноимённые произведения разных лет расставлены в порядке от более позднего издания к более раннему.

→ Предпочтительно обращаться к более поздним изданиям, так как авторы или издатель могли вносить в работу изменения и дополнения, основанные на ранее неизвестных научных данных. Кроме того, с развитием науки взгляды учёных на тот или иной факт могут изменяться.

■ Задание*

Вспомните, как учёные разных времён объясняли восход и заход солнца.

Пример работы с литературой

Критерии отбора информации

При поиске литературы необходимо подбирать такую информацию, которая является достоверной, полной и современной.

Достоверными источниками информации можно считать:

- ↳ учебные издания, допущенные или рекомендованные Министерством образования и науки Российской Федерации к применению в учебных заведениях;
- ↳ энциклопедии и справочники;
- ↳ научные монографии — работы, написанные одним автором и посвящённые отдельному предмету; на оборотной стороне титульного листа таких изданий обязательно указаны *рецензенты* (учёные, которые ознакомились с работой до публикации, высказали автору своё мнение и, возможно, сделали замечания по улучшению);
- ↳ сборники научных трудов — обычно их выпускают высшие учебные заведения (институты, университеты) и научно-исследовательские организации;
- ↳ научные и научно-популярные журналы, например «Природа», «Экология и жизнь», «Экос», «Наука и жизнь», «Химия и жизнь» и т. д.

➡ Существуют издания, которые нежелательно использовать в научных и исследовательских целях. К ним относят, например, газеты и развлекательную литературу. В таких публикациях обычно отсутствуют точные ссылки на источники научной информации, описания методов исследований и т. д. Это вовсе не означает, что предоставляемые сведения недостоверны, но они требуют уточнения и проверки.

О полноте информации в издании свидетельствуют ссылки на другие работы, описания методик проведения исследования, указания на место исследования, детальная характеристика объектов и т. д. Такие пояснения не обязательно присутствуют в каждой публикации, на которую разрешено ссылаться в собственной научной работе. Например, в официальных изданиях, излагающих результаты мониторинга состояния окружающей среды, могут отсутствовать сведения о методах исследований. Эту информацию опускают, потому что процедура проведения таких работ обычно соответствует *Государственным стандартам* (сокращенно *ГОСТ*) — сводам правил и норм, одобренных и утвержденных государственными институтами страны. Кроме того, могут отсутствовать детальные описания места и объекта исследования, потому что цель подобных публикаций — представить целостную картину, не задерживаясь на частностях.

Современность информации зависит от года выхода издания в свет. Как уже было сказано, современные литературные источники более предпочтительны, однако в каждой фундаментальной науке существуют классические работы, которые всегда будут актуальны и востребованы. В экологии примером такой работы служит учебник «Основы экологии» одного из прародителей экологии *сообществ* Юджина Плезантса Одума (1913—2002), впервые изданный в 1953 г. на английском языке. В то же время информация, касающаяся нормативов по выбросам и сбросам загрязняющих веществ, а также по показателям состояния окружающей среды, устаревает очень быстро.

Изучение научной литературы

Ознакомление с изданием начинают с просмотра титульного листа и аннотации (обычно она размещена на обороте титульного листа, иногда — в конце книги). Представленная здесь информация включает: фамилии авторов, заглавие и тип издания (научное, научно-популярное, учебное), читательскую аудиторию (адресовано специалистам, студентам, школьникам), название издающей организации, город и год выхода в свет. Эти сведения помогают предварительно оценить сложность изложения материала (что немаловажно), а также сделать вывод о его достоверности и современности.

Приёмы знакомства с литературой многообразны: можно читать книгу насквозь, можно останавливаться на самых интересных моментах, а можно целенаправленно искать именно ту информацию, которая необходима. В лю-

бом случае *общим правилом работы с литературой* является составление **реферата**. В нём указывают сведения, представленные в аннотации издания и (или) на титульном листе: полное заглавие и жанр издания, фамилии и инициалы авторов, том и номер (выпуск) периодического издания (например, том и номер журнала), год издания, количество страниц. Эту информацию нужно затем привести в списке литературы и использовать при оформлении ссылок в тексте научного отчёта (см. ниже).

Реферат должен кратко характеризовать содержание и структуру издания. Главы, параграфы, наиболее близкие к теме исследования, желательно конспектировать подробнее, указав номера страниц, на которых содержится то или иное мнение или откуда взята та или иная цитата.

Не стоит конспектировать чрезмерно подробно, следуя за авторским изложением. Нужно всегда выделять главное и не перегружать конспект интересными, но не важными для конкретной работы сведениями (т. е. нужно всегда помнить, «зачем ты сюда пришёл»).

Записи следует правильно оформлять, чтобы в дальнейшем при написании научного отчёта по своему исследованию вторично не прорабатывать данное издание.

Библиографические ссылки

К сожалению, в науке существует понятие «**плагиат**». Этим словом называют заимствование каких-либо идей, данных, достижений других авторов без указания авторства, т. е. попросту «научное воровство».

→ Пл ги т особенно р спростр нен при выполнении учебных з - д ний. Школьники и студенты используют для рефер тов, курсовых и дипломных р бот тексты из сети Интернет пр ктически без изменений, выд в я чужую р боту з свою.

В современном мире т кие действия уже не ост ются безн к - з нными: существует множество электронных ресурсов (н пример, с йт URL:<https://www.antiplagiat.ru>), которые позволяют проверяющему провести поиск по фр гменту текст и уст новить ф кт пл ги т . Ан логичным обр зом действуют и рецензенты н учных р бот.

Использование общеизвестных формул, материалов учебников и учебных пособий и т. д., как правило, плагиатом не считается.

Чтобы избежать обвинения в плагиате и показать знакомство с литературой по теме, в текст научного отчёта по выполняемой исследователем работе нужно обязательно включить **библиографические ссылки**. Это сведения об источнике приводимой информации, которые позволяют читателю найти этот источник и ознакомиться с ним подробнее. (Способы оформления библиогра-

фических ссылок приведены в 5.1.) В научном отчёте библиографическую ссылку принято располагать непосредственно за упомянутым или цитированным высказыванием.

Ссылки используют в нескольких случаях: при цитировании; заимствовании формул, таблиц, иллюстраций и т. д.; отсылке к другому изданию, где рассматриваемый вопрос изложен более подробно; анализе работ других исследователей.

Составление списка литературы

Библиографические ссылки внутри текста необходимо дополнить правильно оформленным списком литературы. Список включает в себя только упоминаемые (цитируемые) в данной работе произведения и расположен в конце работы.

Чаще всего список литературы составляют в алфавитном порядке фамилий авторов (рис. 1.12) и заглавий изданий (если в библиотечных каталогах они зарегистрированы под заглавиями).

Исследовательская или реферативная работа может затрагивать несколько самостоятельных тем. Тогда имеет смысл сгруппировать литературу по этим темам, а получившиеся списки представить в алфавитном порядке. Если работа посвящена, например, истории развития научных взглядов, разумно упорядочить упоминаемые произведения по времени их написания. Иногда список литературы составляют в порядке цитирования изданий.

Сведения об изданиях приводят в общепринятой последовательности, для которой тоже разработан Государственный стандарт (ГОСТ), утверждённый Государственным комитетом по стандартизации и метрологии нашей страны.

1. Бигон М., Харпер Дж., Таунсенд К. Экология. Особи, популяції і соціальні групи : в 2 т. : пер. с англ. Т. 1 [ред. А.М. Гиляров]. — М. : Мир, 1989. — 667 с.

2. Гаузе Г.Ф. Исследование над борьбой за существование в смешанных популяциях // Зоологический журнал. — 1935. — Т. 14. — № 2. — С. 243–270.

3. Гиляров А.М. Популяционная экология. — М. : МГУ, 1990. — 184 с.

4. Ивантер Э.В., Ивантер Т.В., Жигальский О.А. Закономерности и факторы динамики популяции рыжей полевки (по наблюдениям в северо-восточном Приладожье) // Экология наземных позвоночных. — Петрозаводск : КНЦ АН СССР, 1991. — С. 86–116.

.....
15. Одум Ю. Экология : в 2 т. : пер. с англ. — М. : Мир, 1986. — Т.1. — 325с. ; Т.2. — 373 с.

Рис. 1.12

Фрагмент списка литературы в реферате по экологии

В соответствии с ним составляют описания неперiodических изданий, журналов, сборников в библиотеках. Если автор работы соблюдает принятые правила, он облегчает своим читателям поиск упомянутых (цитированных) книг в библиотечных каталогах.

Порядок составления описаний литературных источников изложен в 5.1. В общем виде описания книг и статей в списке литературы можно представить следующим образом (обратите внимание на использование строчных и прописных букв).

↳ **Описание книги:**

[Фамилия] [Инициалы]. [Заглавие книги] : [сведения, относящиеся к заглавию]. [Название города] : [Название издательства], [год издания]. [объем издания].

↳ **Описание тома в многотомном неперiodическом издании:**

[Фамилия] [Инициалы]. [Заглавие книги] : [сведения, относящиеся к заглавию]. [Том]. [Название города] : [Название издательства], [год издания]. [объем тома].

↳ **Описание статьи в сборнике:**

[Фамилия] [Инициалы]. [Заглавие статьи] // [Заглавие сборника]. [Название города] : [Название издательства], [год издания]. [Страницы, на которых размещена статья].

↳ **Описание статьи в журнале:**

[Фамилия] [Инициалы]. [Заглавие статьи] // [Заглавие журнала]. [год выхода тома (номера, выпуска)]. [Том], [номер (выпуск)]. [Страницы, на которых размещена статья].

При работе в MS Word не старше 2007 года возможно автоматическое создание ссылок внутри текста и списка литературы.

На вкладке **Ссылки** можно выбрать один из стилей библиографических записей (APA, MLA, ГОСТ и т. д.). Для добавления ссылки в текст нужно нажать кнопку **Вставить ссылку**, выбрать в диалоговом окне **Добавить новый источник**, выбрать **Тип источника** (книга, статья и т. д.) и заполнить предложенные поля. Список литературы будет сформирован программой из добавленных источников автоматически после нажатия кнопки **Список литературы** на вкладке **Ссылки**.



вопросы для контроля

1. В чём различие систематического и алфавитного каталогов библиотек?

2. Почему в списке литературы необходимо приводить данные об изданиях в общепринятой форме?
- 3.** Как вы считаете, является ли плагиатом использование без библиографической ссылки и согласия автора формулы Пифагора для определения длины окружности?



ТЕСТОВЫЕ ЗАДАНИЯ

1. Каталогная карточка не содержит следующей информации:
 - а) фамилий авторов и заглавия произведения;
 - б) места и года издания;
 - в) названия издательства;
 - г) тиража и формата издания;
 - д) количества страниц в издании.
2. Библиотечный каталог, в котором карточки сгруппированы в соответствии с тематикой книг, называют:
 - а) алфавитно-предметным указателем;
 - б) систематическим каталогом;
 - в) алфавитным каталогом.
3. При подготовке исследования или реферата наиболее важными критериями отбора литературы являются:

а) занимательность;	г) полнота;
б) доступность;	д) современность.
в) достоверность;	
4. Библиографические ссылки помещают:

а) в конце работы;	в) в каталожной карточке;
б) в аннотации;	г) непосредственно в тексте работы.
- 5.** Пример правильно оформленной записи в списке литературы:
 - а) *Кошкина Т. В.* Плотность популяции и её значение в регуляции численности красной полёвки // Бюллетень Московского общества испытателей природы. Отдел биологии. — 1965. — Т. 70, вып. 1. — С. 5—19.
 - б) *Кошкина Т. В.* Плотность популяции и её значение в регуляции численности красной полёвки // Бюллетень Московского общества испытателей природы. Отдел биологии. — 1965. — Т. 70. — Вып. 1. — С. 5—19.

в) Кошкина Т. В. Плотность популяции и её значение в регуляции численности красной полёвки // Бюллетень Московского общества испытателей природы. Отдел биологии, 1965. — Т. 70, вып. 1. — С. 5—19.

г) Кошкина Т. В. Плотность популяции и её значение в регуляции численности красной полёвки // Бюллетень Московского общества испытателей природы. Отдел биологии. — Т. 70, вып. 1. — С. 5—19. — 1965.

д) Кошкина Т. В. Плотность популяции и её значение в регуляции численности красной полёвки. Бюллетень Московского общества испытателей природы. Отдел биологии. 1965. Т. 70, вып. 1. — С. 5—19.



**ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ СВЕДЕНИЯ: ИСТОЧНИКИ ИНФОРМАЦИИ
В ИНТЕРНЕТЕ**

Для первоначального ознакомления с научной темой вполне допустимо использовать средства глобальной сети Интернет — всемирного банка информации, хранящейся на специальных компьютерах (серверах) по всему свету. Для поиска информации в Интернете используют различные *поисковые системы*. Адреса наиболее известных русскоязычных поисковых систем: <http://www.yandex.ru>, <http://www.rambler.ru>, <http://google.ru>.

Принцип действия поисковых систем существенно отличается от организации поиска информации в библиотеках. В библиотечных фондах издания строго упорядочены по тематике, фамилиям авторов и заглавиям, а поисковые системы ищут информацию *по аналогии*, проще говоря, по отдельным словам и фразам. Так, при запросе сведений о моллюске наutilus на экране компьютера, скорее всего, появится подборка материалов, посвящённых рок-группе «Наutilus Помпилиус».

Правила цитирования ресурсов Интернета следующие. Если электронный документ имеет печатный аналог, то в работе нужно ссылаться именно на него. Если печатный аналог отсутствует, то указывают автора электронного документа, название электронного документа и точный адрес в Интернете (гиперссылку), а также время последнего обновления приводимой информации (обычно оно отображено на сайте) и дату, когда читатель ознакомился с ней. Электронные ресурсы появляются, обновляются, изменяют своё расположение во всемирной компьютерной сети и исчезают во много раз быстрее, чем печатные источники информации. Поэтому дата ознакомления и точный адрес облегчают идентификацию электронного ресурса. И конечно, недопустимо прямое заимствование (плагиат), которое, к сожалению, не редкость в Интернете.

1.4. Статистическая обработка данных

Что общего у биологии и экологии с математикой? Каждый сразу скажет, что биологи и экологи, рассуждая о живых системах, часто прибегают к математическому языку чисел и формул. Почти невозможно представить себе описание условий и результатов многих экспериментов без упоминания численных значений исследуемых показателей. Однако по завершении опыта бывает нелегко проанализировать собранные данные, обнаружить закономерность и сделать правильные выводы. В этом исследователю помогает наука, связывающая биологию и экологию с математикой.

Основные понятия биометрии

В ходе экспериментов и наблюдений исследователь изучает общие признаки объектов и по этим признакам сравнивает объекты между собой. Понятно, что обследовать всех представителей вида или популяции или всю толщу почв, как правило, невозможно — недоступно или нецелесообразно. Поэтому обычно учёный отбирает некоторых представителей вида или популяции, составляет серию почвенных образцов и т. д., затем исследует полученную *выборку* и делает общее заключение об изучаемом виде, популяции, типе почв. Для того чтобы как можно точнее охарактеризовать данную *генеральную совокупность*, исследователь обращается к *математической статистике*.

Методы математической статистики используют везде, где приходится иметь дело с планированием исследований, оценкой собранных результатов и проверкой рабочих гипотез. Научная отрасль, которая изучает и разрабатывает способы применения статистических методов в биологии, носит название **биометрия** (от греч. *bios* — жизнь и *metréo* — измеряю).

—► Пренебрежение методов биометрии часто приводит экспериментатор к ошибочным выводам и заблуждениям, значит, к напрасной трате его труда и времени.

В 1939 г. в нашей стране противники науки генетики сделали попытку опровергнуть закон сцепления гибридов второго поколения, открытый Г. Менделем (рис. 1.13). Мендель обнаружил, что если скрестить, например, растения гороха с гладкими и морщинистыми семенами, то во втором поколении соотношение потомков будет приблизительно равно 3 : 1. Н. И. Ермолов провел ряд опытов на овощных культурах и из явил, что закон Менделя не соблюдается и закон Менделя неверен. Акдемик математик Андрей Николаевич Колмогоров (1903—1987) из интересов этих опытов и проанализировал предствленные данные с помощью методов м -

тем тической ст тистики. Ок з лось, что резуль ть опыт Ермол евой, н обо-рот, прекр сно подтверж-д ют полученное Менделем р сщепление призна к .

Обследуемые признаки у объ-ектов могут быть выражены в раз-ной степени. Органы животных и растений одного вида различа-ются длиной, шириной, формой, окраской и т. д. Иначе говоря, признак может принимать *различ-ные значения*.

■ ■ ■ Задание*

Знаете ли вы, как биологи называ-ют описанное свойство живых ор-ганизмов?

В некоторых природных груп-пах различия между особями очень велики, в других — признак варьирует в меньшей степени. Ис-следователь должен всегда пом-нить об этом, составляя выборку.

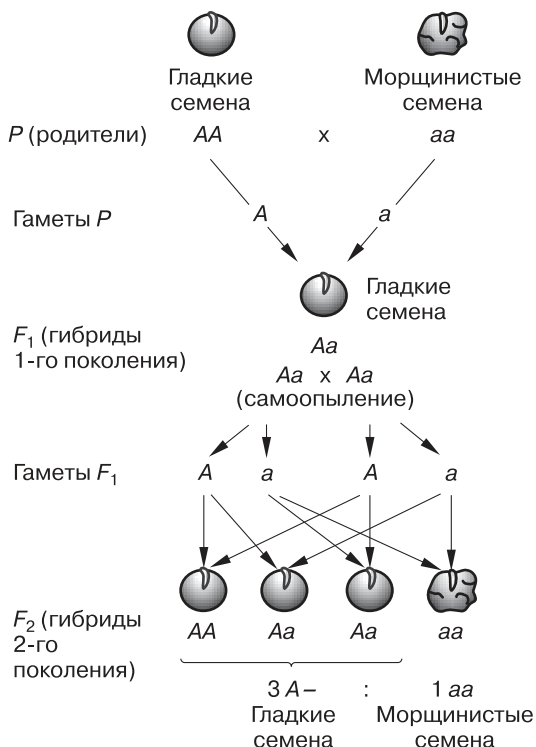


Рис. 1.13

Схема расщепления признаков у гибридов гороха во втором поколении

При исследовании полёвок в Центральном регионе России учёные заметили, что животные с северных территорий крупнее тех, которые заселяют южные области. Чтобы проверить своё наблюдение, они отловили и измерили по десять особей из каждого района. Предположение подтвердилось: полёвки с севера в среднем превосходили полёвок с юга по размеру. Однако число исследованных животных было невелико. Возможно, в северных районах учёным попались только крупные представители, а в выборке южных полёвок случайно оказались только мелкие особи. В действительности северные и южные полёвки по размеру не различаются, что можно было бы выявить, обследовав большее число животных.

Чтобы подобные ошибки не возникали, выборка должна быть *достаточно большой*. Чем сильнее различаются особи популяции, вида и т. п., тем больше должен быть объём выборки.

Учёные часто сравнивают близкие подвиды дрозофилы по жизнеспособности (оценивают среднее количество яиц, отложенных одной самкой, количество выживших потомков, продолжительность жизни и др.). Если различие между подвидами составляет около 10%, необходимо обследовать не менее 4000 особей, если около 1% — понадобится выборка в 400 тыс. особей.

Кроме того, объекты для исследования должны быть отобраны *случайным образом*. Тогда можно с большой долей вероятности говорить, что в выборке то или иное значение признака встречается так же часто, как и в генеральной совокупности.

Иногда различия между объектами можно выразить количественно: в единицах массы, объёма, длины, численности и т. д. Тогда изменчивость исследуемого признака называют **количественной**. Варьирование качественных признаков объекта (цвета, формы, вкуса и т. д.) называют **качественной изменчивостью**.

➡ Когда различия между объектами выражены целыми числами, количественную изменчивость называют **прерывистой (дискретной)**. Например, исследуемые участки почвы различаются по числу растений, популяции — по числу особей в них.

Различия между объектами могут быть выражены дробными числами (при оценивании объёма, длины, массы и т. д.). Тогда число *возможных* значений признака неограниченно и зависит от точности измерения. Например, длина тела лисицы, обитающей на территории Евразии, может достигнуть любого значения в интервале от 50 до 90 см, или — от 500 до 900 мм. Такую количественную изменчивость называют **непрерывной**.

Если признак, для которого характерна качественная изменчивость, принимает только два взаимоисключающих значения («больной» — «здоровый», «белый» — «чёрный», «присутствуют» — «присутствуют отсутствуют» и т. д.), такую изменчивость называют **альтернативной**. Если число возможных значений признака превышает два (белые, красные и розовые цветки), изменчивость называют **атрибутивной**.

■ Задание*

Определите, какую изменчивость проявляют такие признаки человека, как рост, цвет волос, возраст, пол, чувство юмора.

Для оценивания качественных и количественных признаков используют разные способы статистической обработки данных и разные **статистические показатели**.

Оценивание количественных признаков

Основной статистический показатель каждой выборки объектов — **выборочная средняя** (среднее значение количественного признака в выборке). Не менее важно оценить изменчивость количественного признака. Для этого подсчитывают, например, такой показатель, как **стандартное отклонение**, отражающий среднее различие между объектами в выборке.

При исследовании влияния новой кормовой добавки для японских перепелов (рис. 1.14) было выявлено, что выборочная средняя в контрольной группе составляет 92,7 г, а стандартное отклонение — 17,3 г. Выборочная средняя в опытной группе — 102,5 г, а стандартное отклонение — 8,1 г. В результате был сделан вывод о том, что кормовая добавка не только положительно влияет на массу перепелов (средняя масса птиц в опытной группе больше), но и делает рост птицы более равномерным (среднее различие между особями в опытной группе меньше). Это очень важно при промышленном разведении перепелов.

Вывод, сделанный на основании выборки, *не может быть абсолютно точным*, так как не все, а только некоторые объекты генеральной совокупности были обследованы. Поэтому говорят, что показатели, вычисленные по выборке (выборочная средняя, стандартное отклонение и др.), являются **статистическими оценками** (статистическими характеристиками) аналогичных показателей генеральной совокупности и равны им с некоторой долей вероятности. (О вычислении статистических оценок см. дополнительные сведения к 1.4.)



Рис. 1.14

Птенцы японского перепела

Учёные довольно часто проводят анализ влияния различных лекарственных препаратов (тестируют их) на плодовой мушке-дрозофиле. При этом обычно оценивают такие свойства, как плодовитость и смертность мух. Если выясняется, что выборочные средние этих признаков в опытном и контрольном вариантах различаются, то это с большой долей вероятности позволяет утверждать, что препарат воздействует на всех представителей исследуемого вида.

■ Задание*

Восьмиклассник получил двойку за контрольную работу по математике и заявил родителям, что эту тему на уроке не объясняли. Достаточно ли этого утверждения, чтобы сформировать достоверное мнение о настоящей причине неприятного происшествия? А если то же самое заявили трое учеников; 10 из 30; 30 из 30?

Такие показатели, как средние размеры тела млекопитающих, средние размеры глаз насекомых, средняя высота стебля травянистых форм растений и т. д., вычисленные на основании выборок, учёные используют для составления определителей различных видов растений и животных.

■ Задание*

Средние значения каких признаков используют для определения видов цветковых растений?

Оценивание качеств признаков

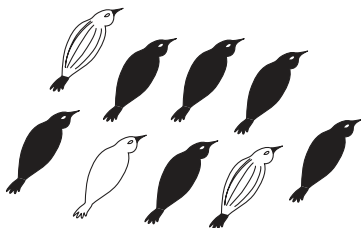
■ Задание*

Можно ли определить среднее значение такого признака, как окраска шерсти животного?

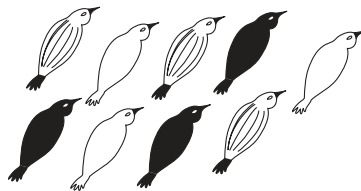
Допустим, в лабораторной популяции мышей имеются чёрные, пятнистые особи и альбиносы. В этом случае бессмысленно определять «среднюю» окраску особей. Также затруднительно выяснить, какие особи больше различаются по окраске — чёрная или пятнистая, пятнистая или белая — и на сколько больше.

■ Задание*

Какая из представленных на рисунке групп птиц, на ваш взгляд, выглядит более разнородной (пестрой)? Почему вы так считаете?



а



б

Рис. 1.15

Соотношения значений качественного признака в выборках: а — 6 : 2 : 1; б — 3 : 3 : 3

Объекты с разными значениями качественного признака могут быть представлены в выборке в разной пропорции. Качественный признак может принимать, например, три значения (чёрное, полосатое и белое оперение), но у особей в основном проявляется только одно из этих значений (из девяти птиц шесть имеют чёрную окраску). Такая совокупность выглядит менее разнородной (пестрой), чем группа, в которой число чёрных, полосатых и белых особей одинаковое (сравните рисунки 1.15, а и б). Изменчивость качественного признака в совокупности объектов считают *наибольшей*, когда объекты, демонстрирующие разные значения этого признака, представлены в равной пропорции.

Для оценки качественной изменчивости признака исследователь определяет соотношение его значений в выборке, а затем по нему вычисляет *статистические показатели* изменчивости в природной (генеральной) совокупности (см. подробнее дополнительные сведения к 1.4).

Ср внение выборок

Задание*

При выполнении исследования учёный не может избежать случайных ошибок, но может их учесть при анализе результатов. Вспомните, что для этого нужно предусмотреть при составлении схемы опыта.

Почти во всех биоэкологических экспериментах исследователю приходится сравнивать разные группы живых объектов, результаты разных вариантов опыта и т. п. Каждый вариант опыта оценивают как одну выборку. Основным показателем различия между выборками является *разность выборочных средних*.

Задание*

Как вы думаете, почему даже однояйцевые близнецы различаются между собой?

Средние значения *любых двух выборок* почти всегда различаются. Изменчивость — основное свойство живых организмов. Даже у одной пары родителей не бывает абсолютно одинаковых по всем признакам потомков. Выборки же, как правило, состоят из потомства разных родителей. Различие может быть ещё большим, если сравниваемые объекты принадлежат *разным генеральным совокупностям* (например, разным популяциям, породам, сортам, подвидам).

Симментальская и чёрно-пёстрая породы коров (рис. 1.16) различаются по продуктивности. Корова симментальской породы даёт в среднем 3700 л молока в год, а чёрно-пёстрая — 4900 л.



а



б

Рис. 1.16

Симментальская (а) и чёрно-пёстрая (б) породы коров

Кроме того, в одной исследуемой выборке могут *случайно* оказаться особи преимущественно с большими значениями признака, а в другой — с малыми (вспомните пример, в котором учёные сравнивали размеры северных и южных полёвок). Возможны и другие причины различий между выборками, например погрешности измерения.

Как определить — обнаруженное различие реальное или мнимое? Нужно *соотнести* разность выборочных средних с величиной *случайных ошибок* (их можно оценить количественно — см. дополнительные сведения к 1.4). Иначе говоря, нужно проверить **статистическую гипотезу** о том, что различие между выборками незначительное (возникло в силу случайности) и им можно пренебречь.

Отношение разности выборочных средних к величине случайных ошибок называют **статистическим критерием** (от греч. *kriterion* — средство для суждения). Чем больше значение статистического критерия, тем меньше вероятность, что разность между выборочными средними — результат случайности. Эта закономерность была установлена на основании теории вероятности и большого количества эмпирических данных.

Известно, что вероятность ошибиться при оценивании генеральной совокупности тем выше, чем меньше объектов в выборке. Поэтому для выборок разного объёма учёные составили специальные справочные таблицы, где указаны *минимальные значения* статистического критерия, при которых различие между выборками можно считать *неслучайным*. Эти таблицы позволяют проверять статистические гипотезы по результатам данного конкретного исследования (одна из них находится в *Приложении 1*). Исследователю нужно сравнить вычисленное им значение статистического критерия с табличным (теоретическим) значением. Если оно больше табличного (превышает случайное различие), значит, расхождение между средними значениями выборок *неслучайно* и гипотезу о несущественности различий можно отвергнуть.

При тестировании лекарственного препарата на дрозофиле учёные использовали три дозы препарата (заложили три опытных варианта и один контрольный) и оценили смертность мух в каждом варианте опыта.

Выборочные средние всех вариантов различались. Однако статистическая обработка данных показала, что из трёх опытных вариантов только один — с наибольшей дозой препарата — существенно отличается от контроля. В результате исследователи сделали вывод о том, что лекарственный препарат в малых дозах не влияет на гибель мух, но в больших дозах является опасным.

Даже очень большая выборка, как правило, намного меньше генеральной совокупности. Поэтому всегда существует вероятность того, что результат проверки гипотезы является ошибочным. Таким образом, мы можем лишь с *некоторой долей вероятности* говорить о том, что гипотеза верна (или не верна).

■ ■ ■ Задание*

Допустим, цыганка предсказала, что вы станете шейхом Аравии. Как вы думаете, насколько велика вероятность того, что её предсказание сбудется? А прогноз Гидрометцентра о дождливой погоде на завтра?

М тем тический н лиз з висимостей: корреляционный н лиз

Не менее важная задача исследователя — изучение взаимосвязей и зависимостей в группах природных объектов. Любую зависимость между двумя явлениями можно выразить уравнением, в котором имеется переменная X (аргумент) и переменная Y (функция аргумента):

$$Y = f(X).$$

Простые зависимости, когда каждому значению аргумента соответствует строго определённое значение функции, таковы:

$$y = x^2, y = 2x + 3 \text{ и т. д.}$$

Если известно значение переменной X , мы можем с абсолютной точностью определить, какое значение примет переменная Y . В естественных условиях подобная зависимость проявляется редко, так как на взаимодействие двух объектов всегда оказывают влияние случайные факторы. Поэтому, если переменная X принимает некоторое значение x_1 , переменная Y принимает одно из возможных значений (y_1, y_2, y_3 и т. д.), и наоборот.

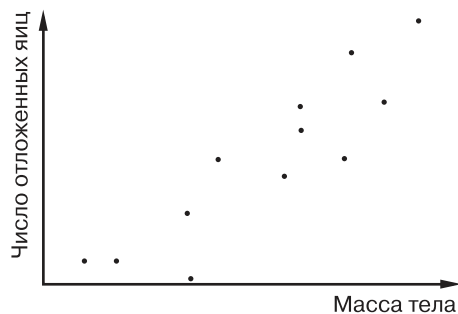


Рис. 1.17

Зависимость между массой тела и плодовитостью самок среднеазиатской черепахи (точками отмечены значения признаков у обследованных животных)

При исследовании среднеазиатской черепахи (*Testudo horsfieldii*) учёные заметили: чем крупнее самка, тем больше яиц она откладывает (рис. 1.17). Впрочем, среди исследованных особей некоторые имели одинаковую массу, но различались по плодовитости. Другие откладывали одинаковое число яиц, хотя масса тела у них была разной.

Такую связь переменных называют **статистической** (вероятностной) **зависимостью**.

■ ■ ■ Задание*

Определите, о каких зависимостях идёт речь в книге Л. Кэрролла «Приключения Алисы в Стране чудес»: «Если слишком долго держать в руках раскалённую докрасна кочергу, в конце концов обожжёшься; если поглубже полоснуть по пальцу ножом, из пальца обычно идёт кровь; если

разом осушить пузырёк с пометкой «Яд!», рано или поздно почти наверняка почувствуешь недомогание» и «Немного спустя Алиса вспомнила, что всё ещё держит в руках кусочки гриба, и принялась осторожно, понемножку откусывать сначала от одного, потом от другого, то вырастая, то уменьшаясь, пока, наконец, не приняла прежнего своего вида».

Формы статистических зависимостей многообразны. Если при изменении какой-либо величины (например, температуры среды) изменяется *среднее значение* другой величины (например, средней плодовитости животных), такую статистическую зависимость называют **корреляционной** (от лат. *correlatio* — соотношение, соответствие, взаимосвязь). О переменных, связанных этой зависимостью, говорят, что они *коррелируют*. Наиболее простую форму корреляционной зависимости можно выразить уравнением прямой линии:

$$\bar{Y} = a + bX,$$

где $\bar{Y}$ — среднее значение переменной Y .

Исследователи изучали влияние освещённости на прорастание овса. В три чашки они разложили по шесть семян и каждую облучали с разной интенсивностью (три варианта опыта). Через семь дней экспериментаторы измерили длину главного корня и вычислили среднюю длину в каждом варианте опыта. Оказалось, что чем выше освещённость (переменная X), тем больше *среднее значение* признака «длина главного корня» (переменная Y). Причём на каждое из трёх значений переменной X приходится по шесть значений переменной Y (рис. 1.18).

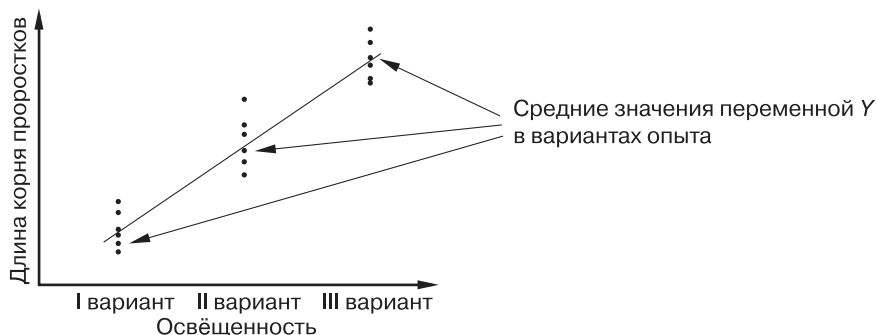


Рис. 1.18

Результаты опыта по влиянию освещённости на прорастание семян овса

Задание**

Вспомните закон Вант-Гоффа о зависимости скорости химических реакций от температуры. Можно ли эту связь назвать корреляционной зависимостью?

Корреляционную зависимость между переменными (изучаемыми признаками или явлениями) оценивают при помощи статистического показателя, называемого **коэффициентом корреляции**. Его значение может изменяться от нуля (связь отсутствует) до 1 (очень сильная связь между переменными). На основании экспериментальных данных исследователь может с определённой долей вероятности утверждать, что в генеральной совокупности корреляция проявляется в той же мере, что и в выборке. (См. подробнее дополнительные сведения к 1.4.)

Выводы по результатам корреляционного анализа необходимо делать осторожно: нельзя принимать поспешное решение, как только удастся выявить простую (линейную) корреляцию между легко оцениваемыми факторами. Нужно понимать, что в природе существуют многочисленные сложные зависимости, которые непросто обнаружить, но необходимо учитывать.



Рис. 1.19

Зверобой
продырявленный
(*Hypericum perforatum*)

В начале XX столетия в Северную Америку был случайно завезён зверобой продырявленный (рис. 1.19). Он стал злостным сорняком, ухудшающим качество пастбищ для овец. Для борьбы с ним в 40-х гг. ввезли жука (листоеда *Chrysolina Quadrigemina*), который снизил влияние зверобоя, и сорняк больше не представлял опасности для овцеводства.

Известно, что зверобой лучше растёт во влажных затенённых местообитаниях и гораздо реже встречается на сухих солнечных склонах. Если бы в прошлом веке исследователи не знали о том, что рост зверобоя контролируют жуки-листоеды, они, скорее всего, сделали бы ошибочный вывод о том, что определяющие факторы для растения — высокий уровень влажности и затенение. На самом деле зверобой предпочитает сухие, хорошо освещённые места, но в таких условиях значительно лучше чувствуют себя и листоеды, поэтому здесь их влияние на растения более существенно, чем на влажных и затенённых участках.

Статистический анализ полученных данных — важный этап большинства биологических и экологических исследований. «Беспристрастные» статистические оценки и показатели помогают экспериментатору проанализировать результаты опыта, проверить и доказать гипотезу, выявить различия между группами объектов и связи между явлениями и признаками, оценить величину случайной ошибки и выдвинуть новые предположения.



ВОПРОСЫ ДЛЯ КОНТРОЛЯ

1. Что такое статистические оценки? Для чего их используют?
- 2.** В лаборатории провели эксперимент по выявлению влияния солей тяжёлых металлов на всхожесть овса. Одну выборку семян обработали раствором соли меди, другую — раствором соли свинца. В варианте с солью свинца всхожесть овса была намного меньше. Исследователь предположил, что ион свинца сильнее влияет на семена, чем ион меди. Каким образом исследователь может проверить свою догадку?
- 3.*** Известно, что при увеличении температуры воздуха транспирация у растений увеличивается. Разработайте схему опыта и предложите способ статистической обработки результатов для доказательства этой зависимости.



ТЕСТОВЫЕ ЗАДАНИЯ

1. Биометрия опирается на методы науки:

а) социологической статистики;	в) планиметрии;
б) математической статистики;	г) морфометрии.
2. Изменчивость признака, при которой различия между объектами можно выразить в единицах массы, называют:

а) качественной;	в) количественной;
б) наследственной;	г) вариативной.
3. Статистическую оценку, которая представляет собой среднее значение признака в выборке, называют:

а) стандартным отклонением;	в) коэффициентом корреляции;
б) выборочной средней;	г) статистическим критерием.

4. Гипотезу о том, что реальные различия между выборками отсутствуют, называют:
 - а) вариативной гипотезой;
 - б) альтернативной гипотезой;
 - в) обоснованной гипотезой;
 - г) статистической гипотезой.
5. Чтобы доказать зависимость скорости развития насекомых от температуры, используют:
 - а) статистический критерий проверки гипотез;
 - б) анализ вариационного ряда;
 - в) коэффициент корреляции;
 - г) коэффициент вариации.



ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ СВЕДЕНИЯ: СТАТИСТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ

Статистические характеристики количественной изменчивости

Значения признака называют **вариантами** признака (единственное число — «варианта»). Если в выборке все объекты разные, тогда вариант признака столько, сколько и объектов. Если некоторые варианты повторяются (какие-то объекты одинаковы по исследуемому признаку), тогда вариант в выборке меньше, чем обследованных объектов. Варианты признака обозначают латинской буквой x с индексом: x_1, x_2, x_3 и т. д.



Рис. 1.20

Ветреница дубравная
(*Anemone nemorosa*)

В ходе наблюдений за цветением ветреницы дубравной (рис. 1.20) исследователи подсчитали число лепестков в венчике цветков на 50 растениях (объём выборки $n = 50$). Варианты изучаемого признака в выборке повторялись: в венчике было 5, 6, 7, 8 или 10 лепестков (всего пять вариант признака). Общее число лепестков на 50 цветках было равным 367.

При сборе количественных данных обычно составляют *рабочую таблицу*.

№ цветка	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12 ...
Число лепестков	5	10	7	8	8	6	10	8	5	5	6	7 ...

Данные рабочей таблицы анализируют статистическими методами.

1. *Выборочная средняя* (обозначают $\bar{x}$) является средним арифметическим значений признака у обследованных объектов. Если объекты в выборке разные (варианты не повторяются), то для подсчёта выборочной средней нужно *сложить* все изменённые значения признака и полученную сумму *разделить* на общее число объектов (на объём выборки — n):

$$\bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + x_3 + \dots + x_n}{n}.$$

Если варианты признака в выборке повторяются, т. е. их число (k) меньше числа объектов (n), нужно умножить каждую повторяющуюся варианту на её *частоту* — на число объектов с данным значением признака (обозначают f):

$$\bar{x} = \frac{x_1 f_1 + x_2 f_2 + \dots + x_k f_k}{n}.$$

В примере с ветреницей выборочная средняя составляет:

$$\bar{x} = \frac{367}{50} = 7,34.$$

Выборочная средняя — статистическая оценка среднего значения признака в генеральной совокупности (*генеральной средней*).

2. Чтобы оценить изменчивость признака, можно сравнивать объекты выборки друг с другом. Но сопоставление каждого объекта с каждым — довольно трудоёмкое занятие. Поэтому для оценивания изменчивости измеренные значения признака сравнивают с выборочной средней (сопоставляют каждый объект выборки с «усреднённым» объектом). Затем вычисляют так называемую *выборочную дисперсию* (от лат. *dispersio* — рассеяние), которую обозначают S^2 . Если все объекты выборки разные (вариант в выборке столько, сколько и объектов), тогда этот показатель вычисляют по формуле:

$$S^2 = \frac{(x_1 - \bar{x})^2 + (x_2 - \bar{x})^2 + (x_3 - \bar{x})^2 + \dots + (x_n - \bar{x})^2}{n - 1}.$$

Если в выборке варианты повторяются (частоты всех или некоторых вариантов больше единицы), используют следующую формулу:

$$S^2 = \frac{f_1(x_1 - \bar{x})^2 + f_2(x_2 - \bar{x})^2 + \dots + f_k(x_k - \bar{x})^2}{n - 1}.$$

Выборочная дисперсия является статистической оценкой изменчивости в генеральной совокупности (*генеральной дисперсии*).

3. В выборке цветков ветреницы выборочная дисперсия признака «число лепестков в венчике» составляет 1,94 «квадратных лепестка» (размерность S^2 равна квадрату размерности признака). Полученный результат неудобно использовать при объяснении результатов исследования и составлении научного отчёта. Поэтому обычно вычисляют квадратный корень из выборочной дис-

персии. Этот показатель изменчивости носит название **стандартного** или **среднего квадратического отклонения** (S):

$$S = \sqrt{S^2}.$$

Стандартное отклонение измеряют в тех же единицах, что и исследуемый признак. Для цветущей ветреницы S равно 1,39. Это означает, что обследованные цветки в среднем различаются на 1,39 лепестка. Практическую ценность стандартного отклонения отражает, в частности, пример из 1.4 о выращивании перепелов.

4. Для сравнения изменчивости признаков, исчисляемых в разных единицах (например, плодовитости рыб и скорости роста мальков) или измеряемых с разной точностью (в миллиметрах и в сантиметрах), используют относительный показатель изменчивости — **коэффициент вариации** (V):

$$V = \frac{S}{\bar{x}} \cdot 100\%.$$

Коэффициент вариации не зависит от абсолютного значения признака и показывает, какой процент от выборочной средней ($\bar{x}$) составляет стандартное отклонение (S). Изменчивость признака считают *незначительной*, если величина коэффициента вариации составляет не более 10%, *умеренной* (средней) — если его значение находится в пределах от 10 до 20%, *значительной* — если оно превышает 20%.

5. Во всяком исследовании не исключены ошибки, искажающие истинную картину. Подсчитанные статистические показатели выборки могут отличаться от истинных показателей генеральной совокупности. Чтобы проверить, годятся ли имеющиеся выборочные данные для того, чтобы судить по ним о генеральной совокупности, вычисляют так называемые *ошибки* статистических характеристик.

Очень важно оценить величину **ошибки выборочной средней**, или **ошибки выборки** (обозначают $S_{\bar{x}}$). Она показывает, на сколько генеральная средняя может быть больше или меньше значения выборочной средней. Величина ошибки выборки зависит от степени изменчивости признака: чем больше изменчивость признака, выраженная через стандартное отклонение (S) или дисперсию (S^2), тем больше ошибка. Кроме того, величина ошибки выборки обратно пропорциональна объёму выборки (n):

$$S_{\bar{x}} = \frac{S}{\sqrt{n}} = \sqrt{\frac{S^2}{n}}.$$

При оформлении результатов работы выборочную среднюю указывают с учётом её ошибки: $\bar{x} \pm S_{\bar{x}}$. Например, ошибка выборочной средней цветущей ветреницы равна 0,04, т. е. в исследуемой популяции среднее число лепестков в венчике составляет: $7,34 \pm 0,04$ лепестка.

Чтобы судить о том, правильно ли выборка отражает свойства генеральной совокупности, нужно подсчитать **относительную ошибку выборочной средней** ($S_{\bar{x}\%}$), т. е. выразить ошибку выборки ($S_{\bar{x}}$) в процентах от выборочной средней ($\bar{x}$):

$$S_{\bar{x}\%} = \frac{S_{\bar{x}}}{\bar{x}} \cdot 100\%.$$

Как правило, если $S_{\bar{x}\%}$ не превышает 10%, результаты опыта (наблюдения) считают удовлетворительными и выборочная средняя (с учётом её ошибки) действительно соответствует генеральной средней. Если $S_{\bar{x}\%}$ превышает 10%, говорят, что выборка не является **репрезентативной** (представительной; от франц. *représentatif* — представительный, авторитетный), т. е. результаты исследования не позволяют правильно оценить генеральную совокупность.

В то же время для разных объектов и разных типов исследований существуют свои «нормы» для относительной ошибки. В частности, при учёте количества насекомых в почвенных пробах выборку считают репрезентативной и при $S_{\bar{x}\%}$, равной 15–40%.

В выборке цветущей ветреницы относительная ошибка выборки составляет:

$$S_{\bar{x}\%} = \frac{0,04}{7,34} \cdot 100\% = 0,5\%.$$

Это означает, что выборка репрезентативна и полученные результаты позволяют сделать справедливый вывод о свойствах оцениваемой генеральной совокупности.

6. Если количество измерений (наблюдений) мало или изменчивость признака высока, описанные выше статистические показатели выборки могут значительно отличаться от оцениваемых показателей генеральной совокупности. В подобных случаях наряду с ними используют более надёжное, но менее точное **интервальное оценивание**. Для этого определяют не единственное возможное значение, а диапазон (интервал) значений, одно из которых с *большой долей вероятности* соответствует истинному значению генерального показателя.

Такой интервал носит название **доверительный интервал** (назван так, потому что характеризует набор значений, которым можно доверять при вычислениях). *Нижняя граница* доверительного интервала показывает наименьшее возможное значение генерального показателя, *верхняя граница* — наибольшее. Обычно очень важно оценить среднее значение признака в генеральной совокупности (генеральную среднюю).

В исследовании ветреницы дубравной было обнаружено от 5 до 10 лепестков в одном цветке. Обследованная выборка является репрезентативной, поэтому, очевидно, генеральная средняя находится внутри ука-

занного интервала, а не за его границами. Однако такой широкий интервал нельзя назвать точной интервальной оценкой.

Среднее число лепестков в венчике с учётом ошибки составило $7,34 \pm 0,04$. Этот интервал очень узкий, поэтому он может не включать значение генеральной средней. Кроме того, мы не можем определить, *насколько вероятно*, что значение генеральной средней находится внутри этого интервала.

При интервальном оценивании исследователь имеет возможность *задать долю вероятности* того, что оцениваемая генеральная средняя находится внутри доверительного интервала. При этом он получает более или менее точную интервальную оценку. Эту долю вероятности называют **уровнем доверительной вероятности** (P). Данная величина теоретически может принимать значения от 0 до 1 (или от 0 до 100%).

Понятно, что при оценивании исследователь рискует ошибиться. Вероятность того, что найденный интервал не включает значение генерального показателя, называют **уровнем значимости** (Q). Уровень значимости (риск ошибиться) тем выше, чем меньше уровень доверительной вероятности. Взаимосвязь упомянутых величин математически выражают так:

$$P = 1 - Q.$$

В большинстве биоэкологических исследований приемлемым считают уровень доверительной вероятности, равный 0,95 (95%), которому соответствует уровень значимости, равный 0,05 (5%), а также 99%-й уровень вероятности, которому соответствует 1%-й уровень значимости.

При интервальном оценивании исследователь должен принимать во внимание действие фактора случайности, который может влиять на результаты оценивания генеральной совокупности по выборке. Причём это влияние тем больше, чем меньше объём выборки. Для учёта фактора случайности применяют статистический критерий, называемый **критерием Стьюдента**, или ***t*-критерием**. Его величина не зависит от значения выборочной средней или ошибки выборочной средней, но определяется объёмом выборки и заданным уровнем доверительной вероятности (уровнем значимости). Стандартные (теоретические) значения *t*-критерия вычислены на основании положений теории вероятности и приведены в справочных таблицах (см. Приложение 1).

Чтобы произвести интервальное оценивание генеральной средней (обозначают $\bar{x}_r$), нужно вычислить выборочную среднюю ($\bar{x}$), ошибку выборочной средней ($S_{\bar{x}}$), найти в таблице то значение критерия Стьюдента (t), которое соответствует имеющемуся объёму выборки и выбранному уровню значимости, и подставить полученные величины в неравенство для построения доверительного интервала:

$$\bar{x} - tS_{\bar{x}} \leq \bar{x}_r \leq \bar{x} + tS_{\bar{x}},$$

или сокращённо $\bar{x}_r = \bar{x} \pm tS_{\bar{x}}$.

Чтобы по выборке цветущей ветреницы оценить генеральную среднюю при уровне значимости, равном 5%, необходимо:

1) по имеющейся выборке вычислить выборочную среднюю и ошибку выборки:

$$\bar{x} = 7,34; S_{\bar{x}} = 0,04;$$

2) подсчитать разность объёма выборки и единицы (обозначают v):

$$v = n - 1 = 50 - 1 = 49;$$

3) по справочной таблице найти значение критерия Стьюдента, которое находится на пересечении строки $v = 49$ и столбца $Q = 0,05$:

$$t_{05} = 2,01;$$

4) подставить значения $\bar{x}$, $S_{\bar{x}}$ и t_{05} в формулу для определения границ доверительного интервала:

$$\bar{x}_r = 7,34 \pm 2,01 \cdot 0,04,$$

$$7,25 \leq \bar{x}_r \leq 7,42.$$

Значит, в популяции ветреницы среднее число лепестков в цветках с вероятностью 95% находится в интервале от 7,25 до 7,42. Вероятность ошибки составляет 5%.

Статистические характеристики качественной изменчивости

Изменчивость качественного признака оценивают по соотношению его вариант в выборке. Число вариант качественного признака (k) обычно меньше числа объектов (n), так как значения признака в выборке, как правило, повторяются.

Сначала подсчитывают частоты всех вариант — $f_1, f_2, f_3, f_4, \dots, f_k$. Затем находят **доли вариант** признака (обозначают p). Для этого каждую из частот делят на общее число объектов в выборке:

$$p_1 = \frac{f_1}{n}; p_2 = \frac{f_2}{n}; p_3 = \frac{f_3}{n}; \dots; p_k = \frac{f_k}{n},$$

где p_1 — доля первой варианты (x_1) в выборке, p_2 — доля второй варианты (x_2), p_3 — доля третьей варианты (x_3) и т. д. (табл. 1.1).

Таблица 1.1

Некоторые статистические показатели признака «окраска оперения» в группе, изображённой на рисунке 1.15, а (см. с. 49)

Из девяти птиц шесть — черные, две — полосатые и одна — белая

Варианта признака	x_1	x_2	x_3
Значение варианты признака	Чёрная	Полосатая	Белая
Частота варианты признака (f)	6	2	1
Доля варианты признака (p)	0,67	0,22	0,11

Сумма всех долей в совокупности равна единице (или 100%, если доли выражать в процентах от целого).

1. Для оценивания изменчивости качественного признака используют так называемый **показатель изменчивости качественного признака** — S_B , вычисляя его по формуле:

$$S_B = \sqrt[k]{p_1 \cdot p_2 \cdot p_3 \cdot \dots \cdot p_k}.$$

2. Часто бывает необходимо сравнить признаки, различающиеся по числу вариант (k), например окраску венчика и форму листовых пластинок. В таких случаях вычисляют относительный показатель изменчивости — **коэффициент вариации качественного признака** (V_p). Он показывает, какова изменчивость признака в данной выборке (S_B) по отношению к его максимальной возможной изменчивости (обозначают $S_{\max}$):

$$V_p = \frac{S_B}{S_{\max}} \cdot 100\%.$$

Если S_B равно $S_{\max}$, то V_p принимает наибольшее значение — 100%.

Значение $S_{\max}$ зависит от числа возможных вариантов признака (k). Так, при альтернативной изменчивости (k равно 2) значение показателя $S_{\max}$ составляет:

$$S_{\max} = \sqrt{p_1 \cdot p_2} = \sqrt{\frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2}} = 0,5.$$

При атрибутивной изменчивости (k больше 2) равные доли всегда меньше $\frac{1}{2}$ и максимальные значения показателя изменчивости всегда ниже, чем при альтернативной изменчивости (табл. 1.2).

Таблица 1.2

**Максимальные значения показателя изменчивости
качественного признака**

Число возможных значений признака (k)	$S_{\max}$	
	в абсолютном выражении	в %
2	0,5	50
3	0,333	33,3
4	0,25	25
5	0,2	20
6	0,167	16,7
7	0,143	14,3

3. *Случайные ошибки* могут влиять на соотношение долей признака в выборке, поэтому оно может отличаться от истинного соотношения долей в генеральной совокупности. **Ошибку выборочной доли** (S_p) вычисляют по формуле:

$$S_p = \frac{S_b}{\sqrt{n}},$$

где S_b — показатель изменчивости качественного признака; n — объём выборки.

Доли вариант признака в выборке соответствуют его истинным долям (**генеральным долям**) с учётом ошибки: $p_1 \pm S_p$, $p_2 \pm S_p$ и т. д.

4. Если выборка невелика, то для оценки качественной изменчивости в генеральной совокупности, так же как и при изучении количественной изменчивости, применяют *интервальное оценивание*. Доверительный интервал для генеральной доли признака (p_r) имеет вид:

$$p - tS_p \leq p_r \leq p + tS_p, \text{ или сокращённо } p_r = p \pm tS_p.$$

Для определения границ доверительного интервала вычисляют доли вариант признака в выборке ($p_1, p_2, p_3, \dots, p_k$) и их ошибку (S_p). Влияние случайных факторов учитывают с помощью критерия Стьюдента (t). Его значения при уровне значимости, равном 0,01 или 0,05 (обозначают t_{01} и t_{05}), находят по справочной таблице (см. Приложение 1), предварительно вычислив разность объёма выборки и единицы (v).

Проверка статистической гипотезы о равенстве выборочных средних

Для того чтобы выяснить, существенно ли обнаруженное различие между двумя выборочными средними ($\bar{x}_1$ и $\bar{x}_2$), обычно применяют статистический критерий Стьюдента (t -критерий).

Чтобы проверить статистическую гипотезу о незначимости различий, сначала вычисляют **разность выборочных средних** (d):

$$d = \bar{x}_1 - \bar{x}_2.$$

Находят **ошибку разности выборочных средних** (обозначают S_d):

$$S_d = \sqrt{S_{\bar{x}_1}^2 + S_{\bar{x}_2}^2},$$

где $S_{\bar{x}_1}$ и $S_{\bar{x}_2}$ — ошибки выборочных средних $\bar{x}_1$ и $\bar{x}_2$.

Затем полученные значения используют для вычисления **выборочного значения** t -критерия (t_b):

$$t_b = \frac{d}{S_d}.$$

По справочной таблице находят **теоретическое значение** критерия Стьюдента (t_{05} или t_{01}). Для этого подсчитывают общее число обследованных объектов (оно равно сумме объёмов выборок — n_1 и n_2) и вычитают из него две единицы:

$$v = n_1 + n_2 - 2.$$

Теоретические значения t -критерия t_{05} и t_{01} расположены на пересечении строки с номером, равным v , и столбцов $Q = 0,05$ и $Q = 0,01$.

Если t_b меньше t_{05} (t_b меньше t_{01}), начальную статистическую гипотезу **не отвергают**: различие между выборочными средними незначительное и обусловлено случайными причинами. Если t_b больше t_{05} (t_b больше t_{01}), начальную гипотезу **отвергают**: различие между выборочными средними существенно, и его нельзя объяснить случайностью.

Каков бы ни был результат проверки гипотезы, он не является абсолютно точным. Вероятность того, что исследователь ошибся, составляет 5 или 1% в зависимости от выбранного уровня значимости.

Выявление линейной корреляционной зависимости между двумя величинами

Основной показатель линейной корреляции — **коэффициент корреляции** (обозначают r_{xy}) — позволяет оценить связь между переменными X и Y (двумя признаками, фактором и признаком и т. п.). Для его вычисления используют формулу:

$$r_{xy} = \frac{[(x_1 - \bar{x}) + (x_2 - \bar{x}) + \dots + (x_n - \bar{x})] \cdot [(y_1 - \bar{y}) + (y_2 - \bar{y}) + \dots + (y_n - \bar{y})]}{S_x \cdot S_y},$$

где S_x и S_y — стандартные отклонения переменных X и Y .

Коэффициент корреляции — безразмерная величина и может изменяться в пределах от -1 до 1 . Модуль значения коэффициента корреляции показывает **тесноту связи**. При $|r_{xy}|$, равном 1 , переменные X и Y связаны простой линейной зависимостью: одному значению переменной X соответствует одно значение переменной Y . Если $|r_{xy}|$ больше $0,7$, связь *сильная*, при $|r_{xy}|$, равном $0,3$ — $0,7$, — *умеренная* (средняя), если $|r_{xy}|$ меньше $0,3$, связь *слабая*. При r_{xy} , равном 0 , переменные X и Y (исследуемые признаки, признак и фактор) не коррелируют.

Знак при значении коэффициента корреляции показывает **направление связи**. Если r_{xy} больше 0 , корреляция *прямая*, например, чем выше температура среды (переменная X), тем быстрее развиваются насекомые (переменная Y). Если r_{xy} меньше 0 , корреляция *обратная*, например, чем больше численность хищника (переменная X), тем меньше численность жертвы (переменная Y).

Корреляционная зависимость, обнаруженная в выборке, с *определённой долей вероятности* отражает направление и тесноту связи в исследуемой генеральной совокупности. Иначе говоря, коэффициент корреляции, вычисленный по выборке, является *статистической оценкой* корреляционной зависимости в генеральной совокупности.

Организм и среда обитания



2.1. Основные понятия экологии особей

Экология, как вы уже знаете, — наука о взаимодействии живых организмов, популяций и сообществ (живых систем) друг с другом и с окружающей средой. Экология особей, или *аутэкология*, изучает влияние экологических факторов на отдельные организмы. Основная задача аутэкологии — выявить закономерности действия экологических факторов, характер реакции организмов на изменения среды и изучить адаптации организмов. Полученные знания позволяют прогнозировать дальнейшее развитие видов в условиях постоянно меняющейся окружающей среды.

Окружающая среда. Экологические факторы

Окружающей средой называют всю совокупность условий, существующих в биосфере, окружающих организмы и прямо или косвенно влияющих на их состояние, развитие, выживание и размножение. Окружающая среда представлена различными **средами жизни**, каждая из которых отличается определённым комплексом условий. Внутри сред жизни существуют различные местообитания, заселённые особями разных видов и предоставляющие им всё необходимое для существования. Местообитаниями белок являются хвойные, смешанные и лиственные леса, местообитание полярного медведя — прибрежные районы арктических пустынь или тундры и т. д.

Различным местообитаниям свойственны различные комбинации **экологических факторов**. Экологическими факторами называют компоненты окружающей среды, оказывающие прямое действие на организмы на протяжении хотя бы одной из фаз их развития. Экологические факторы традиционно разделяют на три группы по происхождению.

Абиотические факторы — это условия и ресурсы неживой природы, например температура, атмосферное и водное давление, свет, влажность почвы

и воздуха, солёность воды и т. д. Чаще всего абиотические факторы действуют в совокупности, поэтому иногда их действие очень трудно разграничить.

Обычной реакцией верблюда на повышение температуры воздуха является учащённое дыхание, в ходе которого со слизистых покровов ротовой и носовой полости испаряется влага и организм охлаждается. В условиях дефицита питьевой воды дыхание, наоборот, замедляется, несмотря на продолжающееся повышение температуры тела, что позволяет животному сократить расход воды. Такая реакция на жару вызвана совместным действием двух факторов — высокой температуры среды и недостатка питьевой воды.

Влияние экологического фактора *прямое и неделимое* (его нельзя разложить на более мелкие составляющие). Например, высота над уровнем моря и глубина не являются экологическими факторами, так как действуют на организмы опосредованно. С глубиной изменяются давление, температура и освещённость, а с высотой — атмосферное давление, состав воздуха, температура и влажность. Эти показатели среды, зависящие от глубины и высоты над уровнем моря, представляют собой экологические факторы.

Биотические факторы (биотические взаимодействия) — это разнообразные влияния живых организмов друг на друга и на среду обитания. Биотическими факторами являются доступность пищи, активность хищников, возбудителей болезней, конкурентов и т. д. Биотические взаимодействия (факторы) принципиально отличаются от абиотических факторов тем, что воздействие испытывают обе стороны, например и паразит, и его хозяин.

Антропогенные факторы — это те воздействия на организмы и среду, которые являются результатом деятельности человека. Антропогенными факторами, например, являются изменения концентраций загрязняющих веществ, постоянно поступающих в биосферу. Факторы этого рода часто действуют не только локально (на месте выброса), но и в глобальном масштабе, например при переносе загрязнителей с воздушными массами. Учёные утверждают, что в настоящий момент почти не осталось местообитаний, так или иначе не подвергающихся действию антропогенных факторов.

Экологическая интенсивность

Экологические факторы действуют на организмы с различной **интенсивностью**. Интенсивность является количественным выражением фактора. Для нормального существования организмам необходимы определённые «дозы» естественных факторов, тогда как избыток или недостаток воздействия тормозит их жизнедеятельность. Таким образом, в зависимости от интенсивности фактор может быть благоприятным или неблагоприятным.

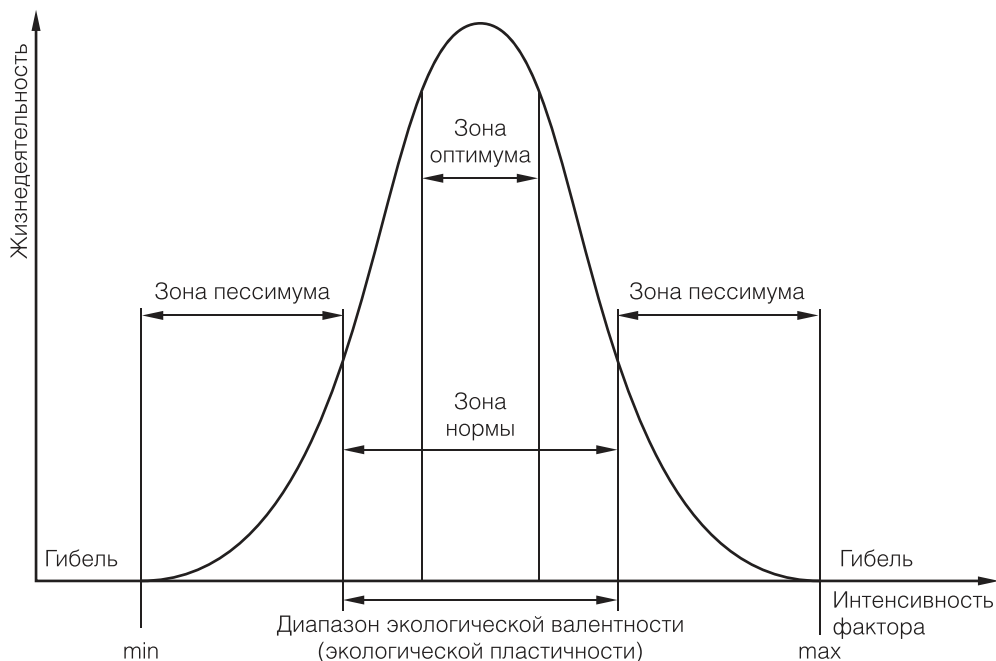


Рис. 2.1

Реакция организмов на действие экологического фактора в зависимости от его интенсивности (по Ю. Одуму, 1968)

Интервал наиболее благоприятных значений интенсивности экологического фактора называют **зоной оптимума** (рис. 2.1). Диапазон интенсивности, в котором сила действия экологического фактора отклоняется от оптимальной, но не нарушает жизнедеятельность организмов, называют **зоной нормы** (зоной нормальной жизнедеятельности). Дальнейшее отклонение интенсивности фактора в ту или иную сторону вызывает угнетение особей. Эти интервалы значений интенсивности называют **зонами пессимума** (от лат. *pessimus* — наихудший). При отклонении интенсивности фактора за пределы, обозначенные точками крайнего недостатка и крайнего избытка действия фактора, наступает гибель организмов.

Ширина зоны нормы определяет границы **экологической валентности** (экологической пластичности) вида. Каждому виду присуща своя экологическая валентность — большая или меньшая способность адаптироваться к колебаниям интенсивности экологического фактора (сравните виды 1 и 2 на рисунке 2.2).

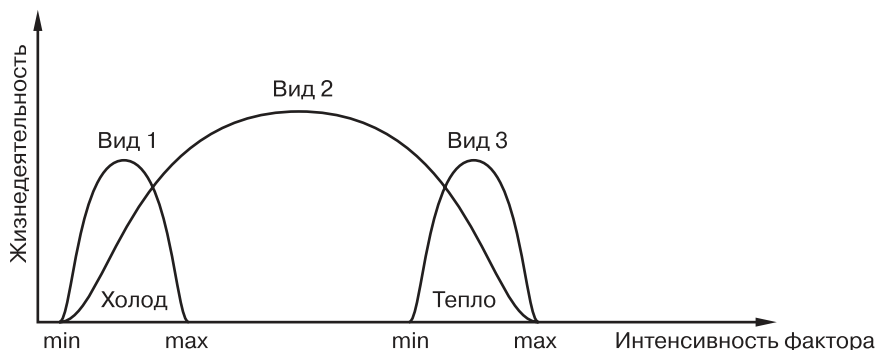


Рис. 2.2

Экологическая валентность различных видов (по Ю. Одуму, 1968)

Виды с высокой и низкой экологической валентностью по отношению к экологическим факторам обозначают терминами, содержащими части греческих слов — *eurýs* (широкий) и *stenos* (узкий, тесный). **Эврибионтными** называют виды, способные к нормальной жизнедеятельности в широком диапазоне колебаний экологических факторов, **стенобионтными** — виды, существующие в узком диапазоне. Так, по отношению к температуре виды могут быть эвритермными и stenотермными (от греч. *therme* — тепло), по отношению к солёности вод — эвригалинными и стеногалинными (от греч. *halinos* — солёный), по отношению к влажности местообитаний — эвригигрическими и стеногигрическими (от греч. *hygrós* — влажный).

Эвритермными видами среди растений являются даурская лиственница (*Larix gmelinii*), выдерживающая колебания температур от -70 до $+20$ °C, а также произрастающая в высокогорных пустынях южных Анд ярета (рис. 2.3) — в среднем от -20 до $+20$ °C. Стенотермными видами являются растения тропических лесов. Для них отклонение температуры на $5-8$ °C от нормы может оказаться губительным.

Среди животных-эвритермов можно отметить соболя, перенося-



Рис. 2.3

«Подушки» яреты (*Azorella compacta*) — представителя зонтичных

щего колебания температур от -40 до $+40$ °C, а примером стенотерма является веслоногий рачок *Copilla mirabile*, не выдерживающий колебаний температуры за пределы $+23...+29$ °C.

Зона оптимума разных видов может располагаться в области больших или меньших значений интенсивности фактора (см. рис. 2.2).

- Термин для обозначения видов, приспособленных к высоким «дозам» экологического фактора, включает четыре греческих слова, от которого произошло название фактора, и четыре греческих слова *phileo* («люблю»), приспособленность к низким дозам указывают с помощью четырёх греческих слов *phobos* («страх»). Например, **термофилы** — теплолюбивые виды, **ксерофилы** (от греч. *xeros* — «сухой») — способные переносить засуху, **криофилы** (от греч. *kryos* — «холод, мороз, лёд») — холодолюбивые виды. Также, некоторые термофильные бактерии обитают в горячих источниках, те, которые встречаются во льдах Арктики, являются криофилами.

III ■ Задание*

Определите, какие из указанных на рисунке 2.2 видов (вид 1, вид 2, вид 3) являются стенобионтными, а какие — эврибионтными. Какой из стенобионтных видов можно было бы назвать термофильным, а какой — термофобным?

Приведите минимум (3) примера (закон Либиха)

В природных условиях экологические факторы действуют совместно и различаются по силе влияния на организм. При этом, как правило, недостаток интенсивности одного фактора нельзя полностью компенсировать достаточной интенсивностью другого. Эту природную закономерность называют **правилом** (законом) **минимума**, согласно которому возможность существования вида в определённом районе и степень его процветания зависят от факторов, которые представлены в наименьших «дозах» (для данного вида), т. е. от **лимитирующих факторов**.

- В 1840 г. немецкий химик Юстус Либих (1803—1873) первым экспериментально доказал, что рост растения зависит от того элемента питания, который присутствует в относительно малом количестве. Это явление получило название **привила минимума**. В честь этого открытия его ещё называют **законом Либиха**.

В течение лета в тундре наблюдается достаточное увлажнение и освещение (рис. 2.4), а почвы содержат необходимые минеральные вещества в нужных количествах. Однако все эти благоприятные факторы не ослабляют действия одного неблагоприятного — низких температур. Развитие растений зависит преимущественно от него.

При формировании приспособлений к постоянно действующему лимитирующему фактору различные, часто совсем не родственные группы проявляют сходство. Похожим образом изменилось строение гемоглобина у некоторых видов рыб и высокогорных млекопитающих. И те и другие живут в условиях недостатка кислорода. Гемоглобин этих животных имеет большую ёмкость по отношению к кислороду.

В течение года или жизненного цикла лимитирующими для организмов могут быть разные факторы.

Для фотосинтезирующих обитателей озера, в котором растворено мало углекислого газа, главным лимитирующим фактором является концентрация двуокиси углерода в воде. При этом другие факторы — свет, содержание азота, фосфора и прочих биогенных элементов — представлены в избытке. Во время бури в воде растворяется дополнительное количество углекислого газа, и его содержание в воде перестает быть лимитирующим фактором. Интенсивность фотосинтеза возрастает и будет наиболее сильно зависеть от того фактора, который окажется в недостатке.



Рис. 2.4

Тундра летом

3 кон толер нтности Шелфорд

Учёные заметили, что избыточная интенсивность экологических факторов тоже оказывает угнетающее влияние на организмы. Например, антарктические рыбы трематомы (род *Trematomus*) погибают при повышении температуры среды до $+6\text{ }^{\circ}\text{C}$, а многие возбудители инфекционных заболеваний человека полностью прекращают активность при температуре $+60\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Диапазон между минимумом и максимумом интенсивности экологического фактора характеризует экологическую пластичность вида (см. рис. 2.1) и определяет **выносливость**, или **толерантность**, особей (от лат. *tolerantia* — терпение) по отношению к данному фактору.

- ▶ Представления о лимитирующем влиянии минимум интенсивности экологического фактора на рост с минимумом его интенсивности были сформулированы американским зоологом Виктором Эрнестом Шелфордом (1877—1968) в 1913 г.

В течение жизни организма пределы его выносливости изменяются. Обычно для животных критическими периодами онтогенеза являются стадия эмбриона (яйца), стадия интенсивного роста (личинки) и период размножения. В это время организмы обладают наименьшей толерантностью.

Многие морские животные могут существовать в солоноватой или пресной воде с высоким содержанием хлоридов, поэтому они часто заходят в реки вверх по течению. Их личинки не могут жить при такой низкой солёности, так что особи не размножаются в реках и не обосновываются там на постоянное жительство.

На организмы постоянно действуют экологические факторы. Для каждой группы организмов существуют свои оптимальные, нормальные и угнетающие значения их интенсивности. Организмы обладают разной устойчивостью к изменению интенсивности экологических факторов (им свойственна различная толерантность).

—▶ ВОПРОСЫ ДЛЯ КОНТРОЛЯ

1. В чём заключаются правило минимума и закон толерантности Шелфорда? Приведите примеры, иллюстрирующие эти закономерности.
- 2.* Как вы думаете, если растения способны обитать при температурах от -10 до $+40$ °С и влажности воздуха от 75 до 80%, они являются эври- или stenотермными; эври- или stenогигрическими? Ответ обоснуйте.
- 3.** Известно, что в Европу из Америки человек завёз вместе с картофелем его вредителя — колорадского жука. Довольно быстро этот вид насекомых распространился по всему континенту. Какие экологические факторы способствовали возникновению данной ситуации?

—▶ ТЕСТОВЫЕ ЗАДАНИЯ

1. Аутэкология изучает:
 - а) совместимость экологических факторов;
 - б) влияние экологических факторов на отдельные организмы;

- в) влияние отдельных антропогенных факторов;
 - г) совместимость биотических факторов.
2. Распределите факторы по категориям:
- а) абиотические; 1) хищничество;
 - б) биотические; 2) вырубка лесов;
 - в) антропогенные. 3) влажность воздуха;
 - 4) температура воздуха;
 - 5) паразитизм;
 - 6) свет;
 - 7) строительство дорог;
 - 8) давление воздуха;
 - 9) конкуренция;
 - 10) солёность воды.
3. Выберите наиболее правильную формулировку правила минимума:
- а) лимитирующим фактором является тот, интенсивность которого максимальна;
 - б) лимитирующим фактором является тот, интенсивность которого больше всего отклоняется от оптимума для данного вида;
 - в) лимитирующим фактором является тот, интенсивность которого меньше всего отклоняется от оптимума для данного вида;
 - г) лимитирующим фактором является тот, интенсивность которого минимальна.
4. Обитающие в сильносолёных водоёмах организмы, для которых характерны узкие пределы толерантности по отношению к солёности, относят к виду, называемому:
- а) эвригалинным галофобом;
 - б) стеногалинным галофобом;
 - в) эвригалинным галофилом;
 - г) стеногалинным галофилом.
5. Садовод исправно вносил в почву на своём участке азотные, фосфорные и калийные удобрения, однако урожай оставался очень маленьким. Химический анализ показал, что в почве не хватает некоторых микроэлементов. Неудача садовода следует объяснить:
- а) законом толерантности Шелфорда;
 - б) правилом минимума;
 - в) правилом оптимума;
 - г) законом максимума.

2.2. Среда жизни

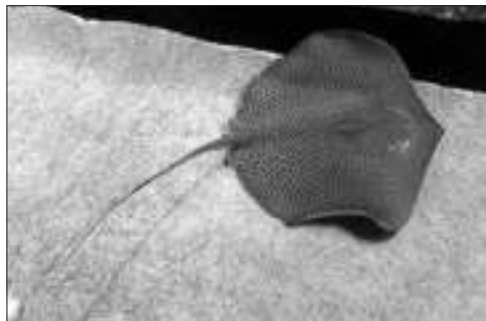
Обычно выделяют четыре возможные среды жизни: водную, наземно-воздушную, почвенную и живой организм. В каждой из них действует свой особый набор экологических факторов, которому соответствует комплекс приспособлений живых организмов. Как правило, уже по внешнему виду можно определить обитателя той или иной среды.

Водная среда жизни

Гидробионты — организмы, обитающие в воде

Водная среда жизни является наиболее древней средой обитания живых существ. В ней до сих пор сохранились виды, которые существовали на Земле сотни миллионов лет назад.

- Хрящевые рыбы (акулы и скаты) появились ещё в девонском периоде (приблизительно 400—345 млн лет н.з.д.), но остались практически неизменными до сегодняшнего дня (рис. 2.5, а). Другой живой реликт водной среды — кистепёрый рыбка латимерия, обитавшая в океане 360 млн лет н.з.д. (рис. 2.5, б).



а



б

Рис. 2.5

Реликтовые первичноводные организмы: а — современный представитель скатов — гигантский морской дьявол, или манта (*Manta birostris*); б — латимерия (*Latimeria chalumnae*)

Первичноводные организмы (организмы, вся эволюция которых связана с водоёмами) обладают наиболее совершенными приспособлениями к жизни в воде.

■ Задание*

Приведите примеры первичноводных организмов.

■ Задание**

Какими приспособлениями к жизни в воде обладают первичноводные животные?

Вторичноводные организмы (вернувшиеся в воду после периода эволюции на суше) также хорошо адаптированы к жизни в водной среде, но всем им в большей или меньшей степени необходим атмосферный воздух для дыхания.

Киты способны находиться под водой 30—120 мин, а ластоногие (рис. 2.6, а) — в среднем 15—30 мин (тюлень Уэдделла — до 45 мин). При этом кровь в организме перераспределяется так, что снабжает кислородом преимущественно головной мозг, а мышцы тела и конечностей в это время испытывают кислородное голодание. Среди вторичноводных ныряльщиков пальма первенства



а



б

Рис. 2.6

Вторичноводные организмы:

а — байкальская нерпа (*Pusa sibirica*);

б — тихоокеанская зелёная черепаха

(*Chelonia mydas*);

в — паук-серебрянка (*Argyroneta aquatica*)



в

принадлежит рептилиям. Так, тихоокеанская зелёная черепаха (рис. 2.6, б) выдерживает погружение до 5 ч, а бородавчатые змеи (семейство *Acrochordidae*) — до 2 ч. Из числа птиц самое длительное погружение производят пингвины — на 3—7 мин, а императорский пингвин — до 18 мин.

Некоторые пауки, вернувшиеся в водную среду обитания (рис. 2.6, в), запасают воздух в специальных ёмкостях — своеобразных воздушных колоколах из паутины (первые аппараты для спуска под воду, построенные человеком, были основаны на этом принципе).

В воде обитает около 150 тыс. видов животных и 10 тыс. видов одноклеточных и многоклеточных водорослей. Эта среда наиболее обширна — она охватывает до 71% поверхности планеты и включает океаны, моря, наземные и подземные водоёмы.

В воде колебания интенсивности основных экологических факторов не очень велики. Температура и освещённость в направлении от поверхности вниз постепенно снижаются, а давление, наоборот, возрастает.

Для фотосинтезирующих организмов важно то, что свет проникает на глубину до 100 м. Для подвижных живых существ наиболее существенными харак-

теристиками воды являются её высокая плотность и вязкость, а также выталкивающая сила, действующая на погружённые тела. Организмы адаптировались к перечисленным свойствам среды водной жизни по-разному, поэтому **гидробионты** (водные обитатели) представлены несколькими экологическими группами.

Рис. 2.7

Планктонные животные: а — медуза (*Aurelia sp.*); б — парусник (*Velella velella*), планктонный колониальный гидроид; в — веслоногий рачок каланус (*Calanus sp.*); г — крылоногий моллюск морской ангел (*Clione limacina*)



а



б



в



г

Планктон (от греч. *planktos* — блуждающий) — совокупность преимущественно мелких организмов, населяющих толщу воды, у которых движение в горизонтальном направлении в целом пассивное (рис. 2.7). Планктонные организмы занимают преимущественно верхние, хорошо прогреваемые и освещаемые солнцем слои. **Фитопланктон** (от греч. *phytón* — растение) состоит в основном из микроскопических водорослей, **зоопланктон** (планктонные животные) — из простейших, моллюсков, мелких ракообразных. Горизонтальное перемещение планктона происходит с токами воды. Движения вверх и вниз в толще водоёма организмы осуществляют, регулируя объем, массу или поверхность тела. Типичные планктонные организмы — медузы и некоторые гидроидные полипы — опускаются и поднимаются, уменьшая или увеличивая площадь поверхности тела и объем.

Бентос (от греч. *bénthos* — глубина) — совокупность организмов, живущих в грунте или на грунте морского или материкового водоёма. Среди них много прикрепленных и малоподвижных форм (рис. 2.8).

Нектон (от греч. *nektós* — плавающий) объединяет различные относительно крупные виды гидробионтов, которые ведут подвижный образ жизни



а



б



в



г



д

Рис. 2.8

Бентосные организмы:
а — морская звезда (представитель иглокожих);
б — актиния (одиночный коралловый полип);
в — голожаберный моллюск;
г — морской ёрш, или скорпена (*Scorpaena* sp.);
д — губка

и заселяют толщу воды: рыб, многих моллюсков (кальмаров, осьминогов), ракообразных. Нектонные формы имеют особые органы движения и специальные приспособления, снижающие сопротивление в вязкой и плотной среде: обтекаемую форму тела и особую смазку, покрывающую их с поверхности и уменьшающую трение. Эти адаптации позволяют организмам свободно и быстро перемещаться.

Даже небольшие кальмары и осьминоги (рис. 2.9, *а*) способны развивать скорость около 50 км/ч. Они используют реактивный принцип движения — с силой выбрасывают назад струю воды, которая толкает животное вперёд. Быстро передвигаются в воде и китообразные. Например, дельфины (рис. 2.9, *б*) способны развивать скорость около 45 км/ч, существенно (почти на треть!) увеличивая её при выпрыгивании из воды.

*а**б***Рис. 2.9**

Представители нектона: *а* — осьминог (головноногий моллюск); *б* — дельфин

Бентосные и нектонные обитатели больших глубин вынуждены противостоять огромным давлениям (до 100 атм), поддерживая такое же давление внутри тела.

■ ■ ■ **Задание****

Долгое время люди считали, что морской глубоководный окунь — это рыба с огромными, вылезавшими из орбит глазами. Однако, когда его исследовали в привычной среде обитания, глаза окуня оказались гораздо меньшего размера. Как вы считаете, с чем это связано?

Основные типы водных местообитаний

Стоячие пресные водоёмы (озёра и пруды) существенно различаются между собой по размеру, по обеспеченности питательными веществами и по другим факторам, состав и интенсивность которых зависят от климата региона. Особенностью данных местообитаний является то, что условия внутри самого водоёма варьируют не очень существенно и часто нельзя пространственно разделить планктонные, нектонные и бентосные формы населяющих его организмов.

В пресных проточных водоёмах планктон выражен слабо, а состав бентоса зависит от скорости течения воды и характера дна. Часто донные формы таких местообитаний ведут прикрепленный образ жизни. Например, встречаются животные, приспособленные к заселению скальных поверхностей, омываемых быстрым течением: личинки мошек, подёнок, ручейников.

Для морских песчаных отмелей характерно чередование обнажения и затопления дна, а также неустойчивость грунта вследствие постоянного движения песка. Здесь обитают многочисленные ракообразные, питающиеся остатками принесённого морем планктона, и черви. Мелкие организмы (рачки, коловратки и простейшие) живут в слое воды между частицами песка. Рыбы и креветки приходят и уходят вместе с водами прилива, иногда появляются двусторчатые и брюхоногие моллюски.

Приморские илистые мелководья образуются в заливах и дельтах рек. Основные источники питания здесь — остатки отмерших растений (например, мангровых зарослей), а также планктон и частицы, приносимые реками и приливом.

Основную массу мангровых зарослей (рис. 2.10) образуют виды родов *Rhizophora*, *Bruguiera*, *Ceriops* и *Kandelia*. Мангровые деревья способны выдерживать большие колебания концентрации солей (главным образом хлорида натрия) в почве. Древесные породы, слагающие мангры, имеют укрепляющие ходульные корни и поднимающиеся из грунта вверх дыхательные корни. В иле живут моллюски, черви, ракообразные и микроорганизмы.

Коралловые рифы, расположенные в тропических океанах, формируют кайму вокруг островов либо кольцо с лагуной внутри или представляют собой так называемые прибрежные барьерные рифы. Средообразующими организмами здесь являются корал-

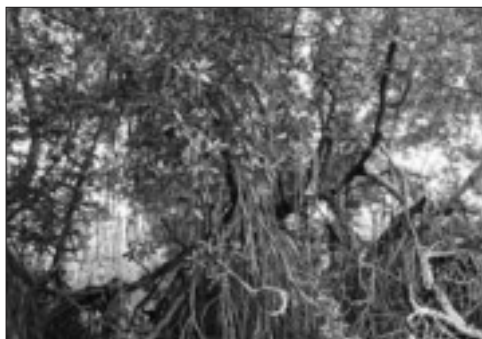


Рис. 2.10

Мангровые заросли в период отлива

лы — родственники медуз и актиний. Коралловые рифы препятствуют течениям и создают благоприятные условия для развития планктонных организмов.

Для данных местообитаний характерны повышенная температура, обильное снабжение свежей водой, органическими и минеральными веществами. Поэтому на коралловых рифах можно наблюдать большое разнообразие жизни (рис. 2.11, а, б): всевозможных червей, моллюсков, актиний, губок, иглокожих и, конечно, позвоночных. Большинство рыб, населяющих морские аквариумы, родом с коралловых рифов.



а



б



в

Рис. 2.11

Обитатели коралловых рифов (а, б);
в — удильщик, или морской чёрт (*Lophius piscatorius*) со светящимся органом

Морские поверхностные и глубоководные — местообитания открытого океана. В поверхностных слоях, куда проникают солнечные лучи, возможен фотосинтез. Эта зона заселена микроскопическими водорослями и жгутиковыми, веслоногими и крылоногими рачками, креветками, медузами, а также организмами, которые их поедают. В глубоководные слои солнечный свет не проникает, и здесь обитают животные, питающиеся готовым органическим веществом.

У многих глубоководных рыб зрение развито слабо, некоторые животные люминесцируют всей поверхностью тела или имеют специальные светящиеся органы (рис. 2.11, в) для приманивания добычи.

Мелководные и глубоководные придонные местообитания различаются по освещённости и температурному режиму. На мелководьях свет достигает дна, а температура воды различна в разные сезоны года. Здесь встречаются прикреплённые водоросли — зелёные, бурые и красные. Среди них живут рыбы, ракообразные, моллюски. Глубоководные организмы обитают в условиях постоянных низких температур и темноты, высокого давления и ограниченного количества пищи, поступающей главным образом из поверхностных вод океана. Эти местообитания заселены крабами, морскими звёздами, морскими ежами, рыбами. В иле живут моллюски, черви. Также встречаются некоторые кораллы и актинии.

Н земно-воздушн я сред жизни

Наземно-воздушная среда жизни отличается от водной прежде всего большим разнообразием и меньшим постоянством условий. При переходе от одного местообитания к другому или при смене сезонов года колебания температуры и влажности могут быть очень существенными. Важными экологическими факторами является ветер, усиливающий или смягчающий влияние температуры и влажности, а также свет, интенсивность которого намного больше, чем в водной среде. Действие всех перечисленных факторов подчиняется законам широтной и вертикальной (в горах) зональности.

■ ■ ■ ■ ■ Задание**

Вспомните правило зональности. Какие факторы являются причинами возникновения широтной и вертикальной зональности?

В связи с большим разнообразием условий в наземно-воздушной среде её животный и растительный мир также отличается разнообразием. Например, по оценкам учёных, количество видов только одного класса животных — насекомых — в наземных местообитаниях достигает 3—4 млн.

Наземные местообитания можно в зависимости от характера растительности условно объединить в несколько крупных групп — **био́мов**, каждая из которых распространена на определённой географической широте. В *тропических, субэкваториальных поясах* и на *экваторе* распространены тропические дождевые леса, существующие в условиях стабильно высоких среднегодовых температур и постоянного избыточного увлажнения.

В *субтропических поясах* климатические условия более разнообразны. Биомы субтропиков представлены сезонными лесами в муссонном климате, редколесьями — в менее влажном климате, саваннами — в местностях, слишком сухих для леса (рис. 2.12, а), полупустынными кустарниками — на территориях с незначительным увлажнением и пустынями — в очень засушливом климате, где количество осадков достигает всего 20—80 мм в год.

Местообитания *умеренных поясов* также разнообразны. В их числе степи (рис. 2.12, б), вельды, пампасы и другие злаковники (произрастающие в условиях относительно тёплого климата и небольшой влажности), редколесья, а также листопадные, смешанные и хвойные леса (в них в направлении с юга на север уменьшается обеспеченность теплом и возрастает влажность).



а



б

Рис. 2.12

Биомы субтропического (а) и умеренного (б) поясов

Субполярные и полярные пояса заняты тундрами и полярными пустынями.

Такие местообитания, как поймы рек и болота, встречаются в большинстве географических поясов (являются *внезональными*) и заселены влаголюбивыми организмами.

В горах существует *вертикальная зональность* (высотная поясность). Количество высотных поясов зависит от высоты горы и географического пояса у её подножия. При движении вверх содержание кислорода в воздухе снижается и становится холоднее. Общие закономерности вертикальной зональности повторяют широтные: состав обитателей меняется при уменьшении средних температур местообитаний.

Почва к к сред жизни

Почва по многим характеристикам занимает промежуточное положение между наземно-воздушной и водной средами жизни. Условия освещённости в ней напоминают таковые для глубоких слоёв воды. Вследствие этого у большого числа обитателей почвы происходит редукция глаз (рис. 2.13).

Колебания температуры и влажности в почве больше, чем в воде, но всё же не так значительны, как в наземных местообитаниях. В умеренном климате на

глубине ниже 1—1,5 м температурный режим сохраняется относительно постоянным. По этой причине многие почвенные организмы являются стенобионтными по отношению к этому фактору.

В зависимости от того, насколько у организмов выражена связь с почвой, их объединяют в несколько групп. **Гео-бионты** (дождевые черви, многие бескрылые насекомые) живут в почве постоянно. **Геофилы** только часть жизни проводят под землёй. К ним относят многих насекомых: саранчовых, некоторых жуков, комаров-долгоножек. Их личинки развиваются в почве, а имаго (взрослые особи) живут на поверхности. **Геоксены** (от греч. *xenos* — чужой) используют почву как укрытие или временное убежище (часто сезонное). Таковы тараканы, а также грызуны и другие млекопитающие, живущие в норах.



Рис. 2.13

Крот (*Talpa sp.*)

Живой орг низм к к сред жизни

Организмы живых существ обеспечивают своим обитателям высокое постоянство экологических условий и защиту от хищников. Это позволяет видам-паразитам «отказаться» от некоторых адаптаций, направленных на противодействие факторам внешней среды. Для многих групп паразитов характерно упрощённое строение по сравнению с родственными свободноживущими группами. Так, ленточные черви утратили органы пищеварительной системы, вши и блохи — крылья, паразитические растения — хлорофилл и способность к фотосинтезу.

Наиболее существенные колебания экологических факторов характерны для наземно-воздушной среды, водная среда и организмы живых существ отличаются наибольшим постоянством условий обитания, а почва занимает промежуточное положение. Водная среда стала «колыбелью жизни» и считается наиболее благоприятной для живых организмов.



ВОПРОСЫ ДЛЯ КОНТРОЛЯ

- 1.* Объясните, почему учёные называют водную среду «колыбелью жизни».

- 2.** Как вы считаете, какие причины обуславливают то, что у многих почвенных обитателей сохранились архаичные (древние) черты строения, свойственные водным жителям?
- 3.** В какой среде жизни обитает наибольшее количество видов животных и почему?



ТЕСТОВЫЕ ЗАДАНИЯ

1. Обитатели моря — киты — являются:
 - а) первичноводными планктонными организмами;
 - б) вторичноводными бентосными организмами;
 - в) вторичноводными нектонными организмами;
 - г) первичноводными нектонными организмами.
2. Бентос — это:
 - а) группа растений, обитающих на поверхности воды;
 - б) совокупность организмов, обитающих на дне;
 - в) группа животных, обитающих у берегов;
 - г) совокупность организмов, населяющих толщу воды и не способных противостоять переносу течениями.
3. Широколиственные леса произрастают в условиях:
 - а) субарктического климата при умеренном увлажнении;
 - б) умеренного засушливого климата;
 - в) субтропического муссонного климата;
 - г) умеренного климата при умеренном увлажнении.
4. Животных, у которых часть жизненного цикла проходит в почве, называют:
 - а) геобионтами;
 - б) геофилами;
 - в) геоксенами;
 - г) гидробионтами.
5. У паразитов, в отличие от свободноживущих особей:
 - а) есть роющие приспособления;
 - б) отсутствует пищеварительная система;
 - в) есть специализированные органы дыхания;
 - г) есть надкрылья.

2.3. Важнейшие экологические факторы: температура

Температура — один из важнейших экологических факторов. Экстремальные значения и заметные колебания его интенсивности наиболее характерны для наземно-воздушной среды. В биосфере встречаются местообитания с таким температурным режимом, что с точки зрения человека они совсем непригодны для жизни. Однако адаптации живых организмов к температурному фактору могут быть поистине поразительными и вызывают восхищение.

Темпер тур местообит ний

В большинстве местообитаний температура среды колеблется в диапазоне от $+60$ (на поверхности песка в пустынях) до -70 °C (в некоторых областях Восточной Сибири). Средний диапазон температур находится в пределах от $+50$ до -50 °C в наземных местообитаниях и от $+2$ до $+27$ °C — в Мировом океане.

Живые организмы способны существовать в достаточно широких температурных пределах. Теоретически верхняя граница активной жизнедеятельности организмов определяется температурой, при которой происходит необратимое нарушение структуры белков (около $+60$ °C), а нижняя — температурой замерзания воды в клетках (около 0 °C). Однако реальные границы распределения жизни на Земле шире.

В кипящих водах на Азорских островах, в Италии и Исландии (рис. 2.15) найдены бактерии родов *Picrococcus* и *Pyrobaculum*, для которых оптимальная температура достигает $+103$ °C. На склонах вулканов, где температура составляет $+85...+105$ °C, обитают бактерии рода *Thermopterus*, а в термальных водах на дне морей при температуре $+95...+106$ °C — бактерии рода *Hyperthermus*. Покоящиеся формы вирусов способны переносить температуры, близкие к абсолютному нулю (-273 °C), коловратки, находящиеся в обезвоженном состоянии, — до -190 °C, некоторые растения — до -70 °C. Аналогичным образом покоящиеся формы организмов способны выдерживать значительное нагревание (до $150—180$ °C).



Рис. 2.14

Гейзер в Исландии

Верхние и нижние пределы выживания организмов расширяются за счёт различных *морфологических*, *физиологических* и *поведенческих* адаптаций. Эти приспособления направлены на поддержание оптимальной температуры тела в условиях колебания температуры окружающей среды. Адаптации к изменениям температурного фактора различаются у *гомойотермных* и *пойкилотермных* организмов. Первая группа включает птиц и млекопитающих, вторая — всех остальных.

Пойкилотермные орг низмы

Влияние температуры на развитие пойкилотермов

Для этой группы живых организмов характерна неустойчивая температура тела, меняющаяся в зависимости от температуры окружающей среды. Возможность существования пойкилотермного вида в тех или иных местообитаниях изначально определена его собственными характеристиками. **Биологический ноль развития** — минимальная температура окружающей среды, при которой может начаться онтогенез особей данного вида. Развитие организмов может протекать при температурах не ниже биологического нуля развития — так называемых *эффективных температурах*. Скорость развития может быть разной в зависимости от того, какова на протяжении этого периода температура среды. Чем она выше, тем быстрее развиваются организмы. Иначе говоря, время развития особей не является постоянным свойством пойкилотермного вида. Неизменной и характерной для него остаётся только *сумма эффективных температур*. Буквально — это количество градусов, накопившихся за всё время, пока длится развитие (количество градусо-дней).

Для форели биологический ноль развития совпадает с 0 °С, а сумма эффективных температур равна 410 градусо-дням. Это означает, что если температура среды ежедневно остаётся равной +2 °С, то нужное для развития икринок количество градусо-дней накопится за 205 дней ($410 : 2 = 205$), при +5 °С развитие произойдёт за 82 дня, при +10 °С — за 41 день.

Для кузнечика *Austroicetes cruciata* биологический ноль развития равен +16 °С, сумма эффективных температур — 70 градусо-дней. При +20 °С время развития составляет 17,5 суток ($70 : (20 - 16) = 17,5$), а при +30 °С — всего 5 суток.

Для большинства сельскохозяйственных растений умеренного климата биологический ноль развития близок к +10 °С, для семян гороха и клевера — от 0 до +2 °С. В соответствии с этим свойством в сельском хозяйстве определяют посевные сроки культур.

Данные о сумме эффективных температур и биологических нулях развития позволяют не только прогнозировать время получения урожая, но и устанавливать время обработки пестицидами, направленными против конкретных вредителей. Например, существуют математические модели, позволяющие с точностью до суток определить стадию развития колорадских жуков и провести обработку тогда, когда насекомые наиболее устойчивы.

Температурные показатели развития пойкилотермных животных связаны следующей закономерностью:

$$T(t - t_0) = K,$$

где T — время развития (в днях); t_0 — биологический ноль развития; $(t - t_0)$ — эффективная температура; K — сумма эффективных температур, или термальная константа развития.



а



б

Рис. 2.15

Репница (*Pieris rapae*): а — гусеница; б — взрослая особь

Задание**

Попытайтесь предсказать, на какой день произойдёт окукливание бабочки репницы (рис. 2.15), если известно, что биологический ноль развития гусениц равен $+10,5^{\circ}\text{C}$, сумма эффективных температур до окукливания — 174 градусо-дня, а средняя температура после откладки яиц составляла по дням: 16, 17, 15, 18, 19, 22, 21, 23, 24, 22, 23, 25, 23, 26, 27, 28 и 26°C соответственно.

■ Задание***

Определите время выхода мальков сельди из икринок, если температура воды $+10\text{ }^{\circ}\text{C}$. Известно, что при $+0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ развитие икры продолжается 50 суток, а при $+16\text{ }^{\circ}\text{C}$ — 8 суток.

Адаптации пойкилотермов к температурному фактору

У пойкилотермов температура тела непостоянная и зависит от температуры окружающей среды. Тем не менее их организмы способны вырабатывать тепло. **Эндогенная теплопродукция** свойственна практически всем пойкилотермным животным. В полёте многие насекомые (например, ночные бабочки) способны поддерживать температуру тела около $35\text{--}40\text{ }^{\circ}\text{C}$ даже при температуре среды, не превышающей $10\text{ }^{\circ}\text{C}$. Для того чтобы начать полёт, они также используют внутреннее тепло, которое вырабатывают с помощью дрожания крыльев. За счёт производства и накопления внутреннего мускульного тепла некоторые рыбы и пресмыкающиеся тоже способны поддерживать относительно стабильную температуру тела.

При колебаниях температуры воды от 10 до $30\text{ }^{\circ}\text{C}$ изменение температуры тела тунца (рис. 2.16, а) составляет всего $5\text{ }^{\circ}\text{C}$. Сходная адаптация обнаружена у некоторых акул.

Самки питонов (рис. 2.16, б), находясь на кладке яиц, с помощью сокращений мускулов тела способны поддерживать нужную температуру кладки при достаточно широком диапазоне внешних температур.



а



б

Рис. 2.16

Примеры пойкилотермных организмов, способных к эндогенной теплопродукции:
а — тунец (*Thunnus sp.*); б — тигровый питон (*Python molurus*)

Всё же в целом адаптации пойкилотермных организмов к температурному фактору направлены на повышение *пассивной устойчивости* и регуляцию получения и отдачи тепла, а не его производства.

У видов, занимающих холодные местообитания, в теле часто накапливаются так называемые **биологические антифризы**. Это органические вещества (гликопротеиды, глицерин, глюкоза), увеличивающие вязкость цитоплазмы клеток и препятствующие образованию льда при замерзании. Кристаллы льда могут повредить клеточные структуры, но опаснее то, что на их образование расходуется практически вся вода клетки. Поэтому у зимующих стадий насекомых в клетках присутствует глицерин, что позволяет снизить порог переохлаждения до $-25...-35\text{ }^{\circ}\text{C}$. Летом глицерин не запасается, а к зиме его концентрация может достигать 10% (у муравьев) и даже 30% (у некоторых ос).

Зимующие растения накапливают в стеблях и корнях большое количество сахаров и пептидов. В летний и раннеосенний периоды растения могут погибнуть даже от незначительного понижения температуры, однако спокойно переносят сильные морозы несколько месяцев спустя.

У пойкилотермов, живущих в местообитаниях с повышенной температурой (горячих источников и т. д.), клетки и ткани построены из особых **термостабильных белков**. Их структура и свойства остаются неизменными при температурах выше $+60\text{ }^{\circ}\text{C}$, когда происходит денатурация обычных белков.

Адаптация к средним низким температурам в местообитании выражается в форме **температурной компенсации**. Известно, что у организмов, обитающих в более холодных условиях, чем их сородичи и близкие виды, уровень обмена повышен.

При снижении температуры до $5\text{ }^{\circ}\text{C}$ активность лягушек северной популяции с острова Ямал сокращается в два раза, а особей более южной популяции из Екатеринбурга — почти в три раза.

Использование охлаждающего действия влаги очень распространено как у высших растений, так и у животных. Растения регулируют открытие и закрытие устьиц в зависимости от температуры окружающего воздуха. Некоторые виды рептилий способны к учащённому дыханию, что увеличивает испарение влаги со стенок ротовой полости. Чем шире диапазон температур в местах обитания видов, тем более выражена данная реакция.

Активное охлаждение используют некоторые черепахи: они смачивают слюной передние конечности или обрызгивают мочой задние ноги.

Способность к **выбору мест с оптимальными температурами** свойственна организмам, использующим для начального обогрева солнечное тепло, а также тем животным, которые согреваются от субстрата. Получив необходимое количество тепла, организм перемещается в более прохладное место.

У прыткой ящерицы (рис. 2.17, *а*) на прямом солнечном свете температура тела повышается до 33—37 °С всего за 20—25 мин.

Манящий краб (рис. 2.17, *б*) выходит на мелководье, когда вода там прогрета солнцем, а в жаркое время прячется на глубине в укрытиях.



а



б



в

Рис. 2.17

Животные, способные регулировать отдачу и потребление тепла при помощи поведенческих адаптаций: *а* — ящерица прыткая (*Lacerta agilis*); *б* — манящий краб (*Uca sp.*) — обитатель мангровых зарослей; *в* — морская игуана (*Amblyrhynchus cristatus*) — эндемик Галапагосских островов

Смена поз является приспособлением для увеличения или уменьшения поверхности обогрева. Типичный пример — морские игуаны с островов Галапагос (рис. 2.17, *в*). На каменистых островах, где мало естественных укрытий, рано утром (или в пасмурную погоду) животные принимают распростёртые позы. Как только начинается перегрев, они приподнимают туловище так, чтобы оно оказалось в тени собственной головы.

Ещё одна адаптация — способность к **диапаузе (анабиозу)**, или **оцепенению**, — особому состоянию, в котором организм почти не функционирует,

а следовательно, не расходует энергию и способен выдерживать многие неблагоприятные воздействия. Организмы часто переносят диапаузу в особых покоящихся формах (семенах, цистах, куколках). В это время в цитоплазме живых клеток содержится гораздо меньше воды, чем в активном состоянии (клетки обезвожены). Это гарантирует высокую устойчивость тканям организма.

Гомойотермные организмы

По сравнению с пойкилотермными организмами у гомойотермов температура тела колеблется в более узких пределах: у птиц она варьирует в диапазоне 38—43,5 °С, а у млекопитающих — 35—39 °С и может немного изменяться (на 2—4 °С) в зависимости от физиологических ритмов, например при чередовании бодрствования и сна. Такое постоянство средней температуры тела возможно благодаря высокому уровню метаболизма у этих животных.

Общая для всех гомойотермных видов закономерность состоит в том, что относительно мелкие организмы затрачивают на производство тепла гораздо больше энергии, чем крупные. При изменении размеров изменяется и отношение площади поверхности тела (от неё зависит скорость потери тепла) к объёму тела животного (влияет на выработку тепла). У мелких животных этот показатель выше, а значит, теплотери больше (см. также дополнительные сведения к 2.3). Поэтому адаптации животных, связанные с *телопродукцией* и *теплоотдачей*, подчиняются **правилу Бергмана**: из группы близких видов наиболее крупные животные обитают в наиболее холодных условиях.

Самый крупный вид пингвинов — императорский (*Aptenodytes forsteri*), длина тела которого достигает 1,2 м, а масса — 34 кг, живёт в наиболее холодных областях Антарктиды (рис. 2.18, а). Самый мелкий вид — галапагосский пингвин (*Spheniscus mendiculus*) размером всего 50 см, живёт около самого экватора (рис. 2.18, б).



а



б

Рис. 2.18

Императорский (а) и галапагосский (б) пингвины — иллюстрация к правилу Бергмана

Ещё одну природную закономерность отражает **правило Аллена**: у млекопитающих, живущих в районах с холодным климатом, значительно уменьшены поверхности ушей и хвоста; шея и лапы — короче, а форма тела — более приземистая, чем у зверей южных территорий.

У живущих на севере песцов (рис. 2.19, *а*) крошечные ушки и короткая морда, у лисицы (рис. 2.19, *б*), распространённой в средних широтах, они больше, а у фенека — пустынной лисички — огромные уши и длинные ноги (рис. 2.19, *в*).



а



б



в

Рис. 2.19

Близкие виды семейства псовых Евразии:
а — песец (*Alopex lagopus*); *б* — лисица обыкновенная (*Vulpes vulpes*); *в* — фенек (*Fennecus zerda*)

Густота мехового и перьевого покрова также зависит от температурных условий. У теплокровных организмов холодных местообитаний шёрстные и перьевые покровы развиты лучше, чем у живущих в теплых условиях. Теплоизоляционные свойства могут отличаться на порядок, т. е. в 10 раз. У животных умеренных широт происходят сезонные линьки, причём летняя и зимняя шерсть различаются по густоте, длине, а иногда и по цвету.

Гомойотермные организмы способны *активно регулировать* интенсивность теплопродукции и теплоотдачи в зависимости от внешних условий. Для снижения теплоотдачи птицы и млекопитающие задействуют **пиломоторные реакции** — способность быстро изменять толщину шёрстного или перьевого покрова за счёт движений перьев или шерстинок. Объёмный покров лучше защищает от холода. Пиломоторные реакции птиц даже вошли в поговорку: «Нахохлился, как воробей».

При понижении температуры окружающей среды проявляется такая адаптация, как **терморегуляционный тонус** — частые, попеременные сокращения отдельных волокон скелетных мышц, невидимые глазу и не связанные с движением тела. При этих сокращениях выделяется тепло. Если охлаждение более сильное, в работу включаются целые мышцы — начинается холодовая дрожь. При этом потребление кислорода мышцами иногда увеличивается на 200—400%.

Расщепление бурого жира, содержащегося под кожей в области лопаток, заметно усиливает теплопродукцию. Бурый жир является экстренным источником тепла, например при выходе животных из спячки.

Эффективным способом сохранения и отдачи тепла являются **сосудистые реакции**. Они обеспечивают усиление или ослабление теплообмена с внешней средой. Для охлаждения поверхностные (подкожные или находящиеся под слизистыми оболочками) сосуды сужаются, и теплоотдача снижается, а в жаркую погоду — наоборот. Такая адаптация наиболее выражена у млекопитающих с относительно коротким и редким мехом, лишённым густого подшёрстка: крыс, домовых мышей и т. д. У птиц в такой регуляции участвуют неоперённые участки тела — головные украшения у куриных, неоперённые лапы у пингвинов, гусей и уток.

Потоотделение позволяет снизить температуру тела и характерно для видов млекопитающих, имеющих специальные железы, например для лошадей и коров.

Учащённое дыхание, так же как и у пойкилотермных животных, помогает увеличить испарение влаги с поверхности слизистых оболочек ротовой полости и горла.

У верблюда на жаре частота дыхания возрастает до 8—18 движений в минуту (при комфортной температуре — 6—11), у крупного рогатого скота — до 250, а у собак (у них отсутствуют потовые железы) — до 300—400 дыхательных движений в минуту против 20—40 в норме.

Птицы для учащения дыхания совершают ещё и особые колебательные движения горла. Эта адаптация является для них основным механизмом регуляции теплоотдачи.

Всем гомойотермным животным в большей или меньшей степени свойственны особые **формы поведения**, связанные с активным сооружением гнёзд, нор, выбором или созданием благоприятного микроклимата.



Рис. 2.20

Пищуха обыкновенная
(*Certhia familiaris*)

Колибри (*Oreotrochis estella*), живущая в высокогорных Андах, строит гнёзда на скалах, причем на стороне, обращённой к востоку. В течение ночи камни отдают тепло, накопленное за день, тем самым обеспечивая комфортную температуру до утра. Крупный размер гнёзд способствует сохранению полученного тепла.

В районах с суровыми, но снежными зимами температура под снегом может быть на 15—18 °С выше внешней. Подсчитано, что белая куропатка, ночуя в подснежной лунке, экономит до 45% энергии.

Многие животные используют групповые ночёвки: пищухи рода *Certhia* (рис. 2.20) собираются в холодную погоду группами до 20 особей, что создаёт благоприятный микроклимат в скоплении. Аналогичное явление описано у грызунов.

Некоторые преимущественно мелкие звери и птицы способны к **обратимой гипотермии (спячке)**, во время которой они впадают в оцепенение, схожее с анабиозом пойкилотермных животных. В состоянии спячки у животного температура тела снижается почти до температуры окружающей среды, оно не проявляет внешних признаков жизни, не выделяет экскреты и совершает редкие дыхательные движения. Таких животных часто выделяют в отдельную группу **гетеротермных организмов**.

Для некоторых гетеротермов — ласточек, стрижей, многих сумчатых, летучих мышей и ряда грызунов — характерна нерегулярная спячка, связанная с резким ухудшением условий окружающей среды. У колибри и летучих мышей происходит чередование периодов активности и оцепенения в течение суток: колибри активны днём и находятся в состоянии гипотермии ночью, а рукокрылые — наоборот.

Многие грызуны, летучие мыши, сумчатые и насекомоядные впадают в зимнюю или летнюю спячку — для них естественны *сезонные циклы* обратной гипотермии. Такие же циклы описаны для единственной птицы — американского козодоя (рис. 2.21).

→ Учёные до сих пор ведут дискуссию о том, можно ли считать существенным различие между зимней спячкой мелких зверей и зимним сном крупных млекопитающих (например, медведей и бобров). Некоторые исследователи считают, что различие принципиальное, так как уровень метаболизма у крупных зверей во сне значительно выше, чем у мелких животных в спячке, медведи, как известно, даже рожают и выкармливают медвежат в берлоге. Другие биологи придерживаются мнения, что различие между упомянутыми состояниями незначимо.



Рис. 2.21

Козодой спящий, или белогорлый американский (*Phalaenoptilus nuttallii*)

Пассивные птицы, например, увеличивают устойчивость при экстремальных температурах, также активные птицы, свойственные в основном гомойотермам, помогают организму выжить в изменяющихся условиях внешней среды. Это позволило им широко распространиться в биосфере и освоить «нелесные» по температурному режиму местообитания.

→ ВОПРОСЫ ДЛЯ КОНТРОЛЯ

1. В чём принципиальное различие температурных адаптаций пойкилотермных и гомойотермных организмов?
- 2.** Как вы считаете, являются ли синонимами пары терминов: «пойкилотермный» и «холоднокровный», «гомойотермный» и «теплокровный»? Использование каких терминов, на ваш взгляд, предпочтительнее?
- 3.*** Иногда в качестве синонима термина «пойкилотермный» используют термин «эктотермный», т. е. «использующий внешнюю температуру», а в качестве синонима термина «гомойотермный» — «эндотермный», т. е. «использующий внутреннее тепло». Равнозначна ли такая замена?



ТЕСТОВЫЕ ЗАДАНИЯ

1. Распределите организмы на группы в соответствии с типом теплообмена:

а) пойкилотермные;	1) членистоногие;
б) гомойотермные.	2) рыбы;
	3) земноводные;
	4) пресмыкающиеся;
	5) птицы;
	6) млекопитающие.
2. Разность $(t - t_0)$ в формуле для расчёта термальной константы развития показывает:
 - а) биологический ноль развития;
 - б) продолжительность развития;
 - в) эффективную температуру;
 - г) термальную константу развития.
3. Распределите фамилии учёных и закономерности, которые они сформулировали:

а) зависимость между размерами тела особей и температурой их местообитаний;	1) Аллен;
б) правило о площади выступающих частей тела.	2) Бергман.
4. Укажите адаптации к температурному фактору, характерные для животных:

а) пойкилотермных;	1) термостабильность белков;
б) гомойотермных.	2) наличие биологических антифризов;
	3) использование мускульного тепла;
	4) использование испарения;
	5) адаптивное поведение;
	6) терморегуляционный тонус;
	7) сосудистые реакции;
	8) потоотделение;
	9) пиломоторные реакции.
5. Гетеротермные организмы — это:
 - а) те, у которых температура тела не зависит от окружающей среды;
 - б) те, у которых в состоянии спячки температура тела снижается почти до температуры окружающей среды;

- в) те, у которых размножение зависит от температуры тела;
г) те, которые активно готовятся к зиме.



ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ СВЕДЕНИЯ:
ПОЯСНЕНИЯ К ПРАВИЛУ БЕРГМАНА

Чтобы понять, почему при уменьшении размеров животного увеличивается отношение площади поверхности тела к его объёму, нужно представить себе некое абстрактное животное, формой напоминающее шар. При уменьшении этого «шара» объём будет уменьшаться пропорционально кубу радиуса, а площадь поверхности — пропорционально квадрату радиуса (рис. 2.22). Тогда понятно, что при уменьшении размеров животного площадь поверхности тела уменьшается медленнее, чем объём, а отношение площади поверхности к объёму возрастает.



$$S = 4\pi R^2$$

$$V = \frac{4}{3}\pi R^3$$



$$R_2 = 0,3 \text{ м}$$

$$S_2 = 4 \cdot 3,14 \cdot 0,3^2 = 1,13 \text{ м}^2$$

$$V_2 = \frac{4}{3} \cdot 3,14 \cdot 0,3^3 = 0,113 \text{ м}^3$$

$$\frac{S_2}{V_2} = 10$$

$$R_1 = 0,2 \text{ м}$$

$$S_1 = 4 \cdot 3,14 \cdot 0,2^2 = 0,50 \text{ м}^2$$

$$V_1 = \frac{4}{3} \cdot 3,14 \cdot 0,2^3 = 0,033 \text{ м}^3$$

$$\frac{S_1}{V_1} = 15$$

Рис. 2.22

Отношение $\frac{S}{V}$ у идеально круглого «животного»

2.4. Важнейшие экологические факторы: влажность, солёность вод

Вода является важнейшей составной частью живых организмов. В цитоплазме клеток животных её содержится от 70 до 90%, у растений — 60—90%. В то же время в наземно-воздушной среде местообитания часто весьма нестабильно обеспечены водой. Поэтому на суше ведущее направление эволюции — выработка адаптаций к недостатку влаги. В водной среде большое значение для жизнедеятельности имеет солёность вод.

Вод в н земных местообит ниях

Экологические группы растений

Для растений вода — не только фактор среды, но и очень важный ресурс, используемый в фотосинтезе. Поэтому при длительном отсутствии влаги неизбежна гибель растения или переход в анабиоз. Это особенно справедливо для фотосинтезирующих организмов, не способных удерживать влагу в тканях, — наземных зелёных водорослей, некоторых мхов и папоротников.

Высшие растения, обитающие в различных по влажности местообитаниях, объединены в несколько экологических групп.

Гидрофиты — наземные растения, укореняющиеся на дне водоёма или в переувлажнённой почве. Субстрат, на котором они живут, беден кислородом, поэтому у растений в стеблях и подводных листьях имеется специальная пористая ткань, заполненная воздухом, — *аэренхима*. Таковы тростник, кубышка, калужница (рис. 2.23, а), вахта.

Гидатофиты — цветковые растения, тело которых полностью погружено в воду, корневая система редуцирована, поглощение воды и солей возможно всей поверхностью. Представители этой группы — элодея, рдесты, ряски и др. (рис. 2.23, б).



а

Рис. 2.23

Представители разных экологических групп растений:
а — калужница болотная (*Caltha palustris*); б — сальвиния плавающая (*Salvinia natans*); в — горичвет кукушкин (*Lychnis flos-cuculi*); г — папирус (*Cyperus papyrus*)



б



в



г

Гигрофиты — настоящие наземные растения, обитающие в местах с высокой влажностью воздуха и хорошим почвенным водоснабжением. У тенелюбивых гигрофитов (предпочитающих затенённые местообитания) часто развиты особые водяные устьица, через которые удаляется влага. Такими растениями являются бодяк, кукушкин горичцвет (рис. 2.23, в), недотрога, тропические лесные травы. Светолюбивым гигрофитам присуща более интенсивная транспирация, например папирусу (рис. 2.23, г), рису, росянке. Они растут в хорошо освещённых и увлажнённых местообитаниях.

Мезофиты — растения умеренно увлажнённых местообитаний. Это самая обширная группа. К ним относят листовенные древесные породы, лесные и луговые травянистые растения, большинство сельскохозяйственных растений.

Ксерофиты — растения засушливых местообитаний. Их разделяют на *суккуленты* и *склерофиты*.

Суккуленты запасают влагу в стеблях и листьях. Корневая система расположена поверхностно и не отличается густотой ветвления. Стебли и листья покрыты кутикулой и часто имеют восковой налёт. Устьица днём, как правило, закрыты. Для суккулентов характерны видоизменённые листья с пониженным испарением, например колючки. К этой группе относят такие растения, как кактусы, алоэ, агавы, молодило.

Система запасаания воды, свойственная суккулентам, может быть очень эффективной: в экспериментах было показано, что кактус рода *Cereus* (рис. 2.24, а), не получая воды в течение двух лет, потерял за это время лишь 13% массы.



а



б

Рис. 2.24

Растения-ксерофиты: а — кактус (*Cereus* sp.); б — ковыль (*Stipa* sp.)

Склерофиты — внешне несочные растения. Они отличаются высокой всасывающей силой корней, позволяющей получать воду из довольно сухой почвы. Листья часто опушены или имеют войлочный покров. У некоторых в особенно жаркие периоды листья могут сворачиваться. Эти приспособления позволяют уменьшить испарение. Ткани склерофитов обладают высокой устойчивостью и могут терять до 25% влаги без отрицательных последствий. В этой группе — полыни, ковыли (рис. 2.24, б), типчаки, верблюжья колючка.

■ ■ ■ Задание**

Подумайте, какие из перечисленных экологических групп растений включают преимущественно эвригигрические, а какие — стеногигрические виды. Какие из них можно назвать гидрофильными, а какие — гидрофобными?

Экологические группы животных

Гидрофилы населяют влажные местообитания, отличаются высокой потребностью в воде и требовательностью к влажности атмосферного воздуха. К этой группе относят разнообразных наземных брюхоногих моллюсков, дождевых червей и других обитателей почв, а также взрослых особей большинства видов амфибий. Часто гидрофилы имеют проницаемые, не защищённые от пересыхания кожные покровы. Их цикл размножения связан с водой. При недостатке влаги многие пойкилотермные гидрофилы впадают в оцепенение.



Рис. 2.25

Амфибия-водонос
Cyclorana platycephala

В Австралии живёт несколько видов квакш рода *Cyclorana*, которые размножаются только в период дождей, а остальные месяцы проводят в оцепенении в вырытых ими норах. Перед погружением в анабиоз кожа амфибии сильно насыщается водой (рис. 2.25), а также выделяет обильную слизь, которая засыхает, образуя плотный водонепроницаемый «кокон» вокруг тела животного.

Особь европейской зелёной жабы (*Bufo viridis*), проникающие в аридные зоны, охотятся только ночью, когда влага конденсируется на почве и растительности, а днём забираются в норы грызунов, где микроклимат почти не изменяется в течение суток.

Мезофилы — обитатели районов с умеренной влажностью. Имеют более совершенные, чем у гидрофилов, адаптации к жизни на суше: малопроницаемые кожные покровы, которые снижают потери воды, способность выделять концентрированную мочу и т. д. К этой группе относят подавляющее большинство насекомых, птиц, млекопитающих.

Ксерофилы — виды, населяющие засушливые местообитания (пустыни, прибрежные дюны). Эта группа включает в основном паукообразных, насекомых, рептилий, а также птиц и млекопитающих, но встречаются и представители других классов. Приспособления этих организмов к недостатку влаги весьма разнообразны.

У ксерофилов существуют адаптации, направленные на *снижение испарения*. Пресмыкающиеся пустынь имеют очень низкий уровень потерь воды через кожу, так как она покрыта ороговевшим эпидермисом и лишена желез. Моча змей и пустынных черепах представляет собой очень густую суспензию, что также уменьшает потери влаги.

Африканские древесные лягушки (*Chiromantis xerampelina* и *Ch. petersi*), а также южноамериканская квакша филломедуза (*Phyllomedusa sauvagii*) (рис. 2.26) отличаются крайне низким уровнем потерь воды через кожу (почти в 10 раз меньше, чем у других земноводных). По этому показателю они приближаются к пустынным пресмыкающимся.



Рис. 2.26

Филломедуза
Phyllomedusa sauvagii

Наземные брюхоногие моллюски в жаркие периоды закупоривают устье раковины с помощью засыхающей слизи и впадают в оцепенение. Пустынные улитки рода *Sphincterochila* теряют в сутки так мало воды, что выдерживают несколько месяцев и даже лет засухи.

У млекопитающих пустынь уменьшено количество потовых желез, и некоторые из них (например, антилопы и грызуны) способны выделять очень концентрированные экскременты.

В качестве *резервного источника влаги* ксерофилы очень часто используют жировые запасы: при расщеплении 1 г жира выделяется 1,05—1,07 г воды. Наиболее известное животное, использующее такие резервы воды, — верблюд. Многие пустынные рептилии и грызуны накапливают жир, перед тем как впасть в сезонный (летний) анабиоз или спячку. Однако большинство этих животных время от времени нуждаются в поступлении воды извне. А вот отдельные виды пустынных грызунов (например, пустынная кенгуровая крыса *Dipodomys*) вообще не пьют — им достаточно воды, поступившей с кормом и

образовавшейся метаболическим путём. Не пьют и некоторые хищные рептилии — им также хватает влаги, содержащейся в пище.

Солёность вод

Организмы, живущие в воде, иногда подвержены такой же опасности обезвоживания, как и наземные формы. Казалось бы, гидробионтам несложно добывать воду. Но в некоторых местообитаниях концентрация солей выше, чем внутри организма, и по законам физики вода стремится выйти наружу через покровы, жабры или ротовое отверстие. Встречается и обратная ситуация: концентрация солей внутри организма больше, чем снаружи (например, в пресном водоёме). Тогда живые клетки могут переполниться водой и лопнуть.

■ ■ ■ Задание**

Вспомните, что такое плазмолиз и деплазмолиз. Какой из этих процессов происходит в первом случае, а какой — во втором?

Существуют организмы, у которых концентрация солей внутри тела почти равна концентрации солей во внешней среде. К ним относятся цианобактерии и низшие растения, а также большинство морских беспозвоночных животных. Эти живые существа распространены преимущественно в морских водоёмах с устойчивой солёностью, потому что возможности изменения концентрации солей внутри организма не очень велики.

Вообще солёность вод в гидросфере колеблется в довольно широких пределах. Существуют пресные водоёмы с концентрацией солей менее 0,5‰ (0,5 промилле¹), солоноватоводные — с концентрацией солей 0,5–16‰ и солёные — более 16‰. Большинство океанов имеет солёность 32–38‰ (в среднем — 35‰), а самая высокая концентрация солей — во внутриконтинентальных солёных озёрах. Она достигает 370‰ (370 г соли в одном литре!). Таким образом, *регуляция водно-солевого обмена* для обитателей воды — важная проблема, которую они решают несколькими способами.

В пресных водоёмах концентрация солей заведомо ниже, чем внутри организма. Поэтому живые существа вынуждены активно регулировать свой водно-солевой обмен. Им приходится постоянно выводить «лишнюю» воду, просочившуюся через покровы или через ротовое отверстие.

В опытах инфузорию-туфельку (род *Paramecium*) помещали в раствор, не содержащий поваренной соли. Объём воды, который она выделяла через мембрану за один час, был равен 4,8 объёма её тела. При концентрации соли 5‰ объём выводимой воды равнялся 1,38 объёма тела, а при 10‰ — 0,16.

¹ Промилле — одна тысячная доля, $\frac{1}{10}$ процента.

У пресноводных рыб вода постоянно поступает в организм через жабры и слизистую пищеварительного тракта. Избыток её выводится через почки. Основная проблема для пресноводных рыб — сохранить соли. Животные успешно решают эту задачу, выделяя большое количество сильно разбавленной мочи. Но при таком обмене веществ они, как правило, не способны жить в более солёных водоёмах.

Морские организмы также вынуждены активно поддерживать баланс воды и солей в теле, но по другой причине: внутренняя концентрация растворов в их теле, как правило, ниже, чем во внешней среде. Следовательно, основная задача обитателей морей и океанов — сохранить воду и вывести избыточные соли. Почки многих морских рыб выводят меньшее (иногда в десятки раз) количество воды, чем почки пресноводных. Но и это приспособление не спасает от потерь влаги, поэтому морские рыбы вынуждены пить солёную воду. Избыточные соли выделяются через почки, кишечник и даже через жабры.

→ **Способность выводить большие количеств солей з висит не только от концентрирующей способности орг нов выделения. Н - пример, известно, что почки человек способны выводить избыточные соли д же при питье морской воды. Одн ко сост в этих солей т ков, что они вызыв ют р сстройство кишечник — ди рею, и человек всё р вно может погибнуть от обезвожив ния.**

Весьма совершенна система регуляции водно-солевого обмена у рачков *Artemia salina* (рис. 2.27) — она позволяет им существовать в воде с концентрацией солей до 350‰. Тем не менее нельзя сказать, что эти рачки положительно реагируют на повышенную солёность. Скорее, они просто умеют к ней приспосабливаться. Так, при солёности 122‰ размер рачков составляет всего 10 мм, а при солёности 20‰ — уже 24—32 мм.



Рис. 2.27

Рачок *Artemia salina*

Особую группу составляют организмы, в течение жизни несколько раз меняющие местообитания с различной солёностью. *При миграциях из морей в реки и обратно* тип регуляции водно-солевого обмена у них перестраивается.

У лососёвых рыб развитие из икринки происходит в пресной воде. Растущие особи затем перемещаются к местам своего постоянного обитания — в морские водоёмы. У молодых рыб, спускающихся из рек в моря,



Рис. 2.28

Лосось атлантический,
или сёмга (*Salmo salar*)

тип водно-солевого обмена изменяется, пока они находятся в пресной воде. В жабрах появляются специальные клетки, способные выводить соли; также изменяется работа почек. В период размножения взрослые особи (рис. 2.28), обитающие в морской, солёной воде, поднимаются в реки на нерест и задерживаются в приливной зоне, где пресная вода смешивается с морской. Перемещаясь вместе с приливами и отливами, рыбы постепенно адаптируются к снижению солёности — у них перестраивается работа почек и других органов.

■ ■ ■ Задание**

Подумайте, какие организмы из перечисленных в тексте можно отнести к эвригалинным, а какие — к стеногалинным. Почему?

Наиболее сложные и многообразные системы регуляции водно-солевого обмена существуют у организмов, населяющих сушу. Это связано с разной степенью увлажнённости их местообитаний. У пресноводных видов приспособления направлены на удержание солей и выведение избыточной воды. У морских, наоборот, на удержание воды и выведение избыточных солей. Мигрирующие водные обитатели вынуждены менять тип водно-солевого обмена в зависимости от солёности местообитания.



ВОПРОСЫ ДЛЯ КОНТРОЛЯ

1. Каковы основные приспособления живых организмов (растений и животных), позволяющие им занимать очень засушливые местообитания?
- 2.* Существуют ли механизмы регуляции водно-солевого обмена у человека? Какие из них вам известны?
- 3.** Каким образом мигрирующие рыбы адаптируются к пресной и солёной воде? Как вы думаете, какие причины способствовали возникновению миграций?



ТЕСТОВЫЕ ЗАДАНИЯ

1. Установите соответствие терминов, определений и примеров.

а) гидатофиты;	1) наземные растения, укореняющиеся в грунте водёма;	I. Элодея, рдест, ряска.
б) суккуленты;	2) растения умеренно увлажнённых местообитаний;	
в) мезофиты;	3) виды цветковых растений с хорошо выраженной вторичной связью с водой;	II. Тростник, кубышка.
г) гидрофиты;	4) растения, запасющие влагу в листьях и стеблях;	III. Кактус, агава, алоэ.
	5) внешне сухие растения, устойчивые к пониженной влажности.	IV. Ковыль, верблюжья колючка.
д) склерофиты.		V. Дуб, ландыш, рябина.

2. Распределите группы животных и их свойства:

а) гидрофилов;	1) в качестве резервного источника воды используют жировые запасы;
б) ксерофилов.	2) слабая водопроницаемость покровов; 3) проницаемые кожные покровы; 4) размножение связано с водой; 5) выделяют концентрированную мочу.

3. У морских рыб концентрация солей в тканях тела:
 - а) больше, чем в окружающей среде;
 - б) такая же, как в окружающей среде;
 - в) меньше, чем в окружающей среде;
 - г) постоянно изменяется.

4. У инфузории-туфельки выделение воды из тела при увеличении солёности окружающей жидкости:

- | | |
|-------------------|-------------------------|
| а) увеличивается; | в) остаётся неизменным; |
| б) уменьшается; | г) меняется хаотично. |

2.5. Важнейшие экологические факторы: свет

Солнечный свет — основной источник энергии для живых организмов. Разные участки солнечного спектра имеют различное биологическое значение. Смена освещённости влияет на жизнедеятельность организмов. Например, причиной существования биологических ритмов (чередующихся периодов активности и отдыха, сезонных явлений и т. д.) часто является периодическое изменение условий освещённости.

Биологическое действие свет

Свет является источником энергии для фотосинтеза растений, бактерий, водорослей и простейших. Кроме того, он оказывает разнообразное биологическое влияние на животных.

Действие разных областей солнечного спектра различно. Область с длиной волны менее 150 нм¹ — это зона *ионизирующей радиации*. Большие дозы ионизирующего излучения могут оказывать мутагенный эффект (повреждать генетический материал клеток). Кроме того, ионизирующие лучи способствуют появлению очень активных частиц — *радикалов*, которые разрушительно действуют на входящие в состав живой клетки вещества. Ионизирующая радиация эффективно задерживается озоновым экраном Земли.

➡ Ионизирующее излучение может быть не только космического происхождения, но и земного — это естественный и искусственный радиация. В связи с антропогенной деятельностью уровень искусственной радиации постоянно растёт. Учёные выяснили, что такое «световое загрязнение», особенно в ночные часы, нарушают циклы сна и бодрствования. В результате, у человека возрастает риск сердечно-сосудистых и онкологических заболеваний.

Ультрафиолетовая радиация — часть спектра с длиной волны 150—400 нм. Часть этого излучения также задерживается верхними слоями атмосферы. До Земли доходят только лучи с длиной волны более 300 нм. Они составляют 5—10% от всего солнечного света, достигающего поверхности Земли. В небольших дозах ультрафиолетовое излучение полезно — оно стимулирует процессы клеточного синтеза, в частности витамина *D*. Повышение доз опасно, так как интенсивная ультрафиолетовая радиация может быть канцерогенной (вы-

¹ Нанометр; приставка *нано-* означает 10⁻⁹.

зывает раковые заболевания). В местообитаниях с усиленной освещённостью организмы накапливают в клетках *защитный пигмент*. В результате формируется загар.

Кроме человека, «загорают» икринки земноводных и рыб, отложенные в мелкие, хорошо освещённые водоёмы. На верхнем полюсе икринок появляется пигментированное пятно. У пустынных рептилий и грызунов окрашивается брыжейка (складка брюшины, поддерживающая кишечник). У некоторых грызунов, живущих в условиях сильного ультрафиолетового излучения, пигментируются половые органы, а у сусликов — даже мозговые оболочки.

■ Задание**

В последнее время, возможно, не без участия косметических компаний, производящих лосьоны и кремы, защищающие от загара, в средствах массовой информации постоянно поднимают тему о вреде загара. Согласны ли вы с этой идеей? Можете ли привести аргументы «за» и «против»?

Видимый свет — лучи с длиной волны от 400 до 800 нм. Эта часть спектра почти полностью участвует в фотосинтезе, а для животных связана с ориентированием в пространстве. На её долю приходится около 40—50% всей солнечной радиации.

➔ Известно, что об- сти видимого свет для р зных орг низмов не совп д ют. Зрительные орг ны некоторых птиц и н секомых вос-приним ют ультр фиолетовые лучи. Многие рептилии «видят» и в инфр кр сном ди п зоне, некоторые б ктерии способны исполь-зов ть лучи этой обл сти для фотосинтез .

Растения, использующие свет для фотосинтеза, делят на две группы. *Гелиофиты* (от греч. *hélíos* — солнце) — светолюбивые растения, живущие на хорошо освещённых участках и не выносящие затенения. Для них, как правило, характерна высокая скорость транспирации и дыхания, что позволяет избегать перегрева под прямыми солнечными лучами. Интенсивность фотосинтеза (в расчёте на единицу поглощённого излучения) у них не так высока, как у тенелюбивых видов. В сообществе они занимают верхние ярусы. Гелиофитами являются сосна, берёза, дуб, многие злаки.

Сциофиты (от греч. *skia* — тень) — тенелюбивые растения, способные существовать в условиях слабого освещения. Растения этой группы используют

свет с большей эффективностью, чем гелиофиты. Интенсивность фотосинтеза у них достигает максимума при более низкой освещённости. Обычно у сциофитов в хлоропластах содержится большое количество пигментов, и они более разнообразны, чем у светолюбивых растений. Кроме хлорофиллов, поглощающих в красной области спектра, часто присутствуют каротиноиды — пигменты красно-коричневых тонов, поглощающие в синей области спектра, что позволяет использовать для фотосинтеза расширенный диапазон длин волн. Сциофитами являются растущие под пологом леса копытень, сныть, кислица, многие тропические лесные травы.

➔ **Деление растений на гелиофиты и сциофиты во многом условно, так как в одной группе могут сочетаться свойства той и другой группы.** Известно, что в процессе роста растения его листья формируются по-разному — в прямой зависимости от того, при каком световом режиме появляется очередной лист. Световые листья обычно толще, светлее, они более плотные, меньше по размеру, на единицу их площади приходится больше клеток, жилкование гуще. Теневые листья более тёмные, нежные, рыхлые, крупнее по размеру, часто бывают многопрозрачнее.

Инфракрасная радиация (800—1000 нм) представляет собой тепловое излучение и, по сути, является составляющей температурного фактора.

Биологические ритмы

Биологические ритмы (биоритмы) представляют собой сложную адаптацию организмов к периодической смене условий жизни. Ведущим условием возникновения биологических ритмов, по-видимому, является смена освещённости. Это предположение в первую очередь касается растений. Однако для многих организмов важной оказывается и смена тепловых условий, условий питания, поступления воды и т. д.

Биологические ритмы могут быть суточными, или **циркадными**, и годовыми, или **цирканными** (от лат. *circa* — около, *dies* — день и *annus* — год). Бывают более сложные ритмы, например связанные с фазами Луны.

Для морского многощетинкового червя палоло (*Eunice viridis*) характерны ритмы, обусловленные лунными циклами. При полной луне (в фазе максимальной высоты прилива) родительские особи приближаются к берегу и приступают к размножению. Когда вода отступает, личинки в течение месяца живут во влажном песке на берегу и в следующий высокий прилив уходят в море.

Циркадные ритмы (суточная периодичность) свойственны большинству видов растений и животных. Время открытия и закрытия цветков у высших растений, время бодрствования и сна у животных и другие суточные ритмы являются специфическими для вида (они закреплены в генотипе) и отличаются большим постоянством.

→ С давних времён люди знают, что время можно определять по «цветочным часам». Они создают специальные клумбы, в которых сочетаются растения с различным временем открытия и закрытия цветков.

Адаптации к условиям освещённости — наиболее древние и хорошо закрепились в ходе эволюции организмов. В обычных условиях *пусковым механизмом* таких циклов является обычное суточное изменение интенсивности абиотических факторов. Но даже в лабораторных условиях, где отсутствуют факторы, побуждающие к ритмичности (например, при равномерной освещённости, доступности пищи, выровненных температурах и т. д.), ритм сохраняется и близок по периодичности к суткам.

В экспериментах с мимозой, растущей в условиях «постоянного дня», было выявлено, что листья складываются и расправляются регулярно. Правда, цикл составляет не 24 ч, а 22—22,5 ч.

Эксперименты с некоторыми птицами показали, что в условиях нерегулярной освещённости их суточные биологические ритмы кратны 23 ч, а в аналогичных опытах с соней — немного превышают 24 ч.

Подобные эксперименты были проведены на людях. Добровольцы длительное время находились в помещениях, где существовало только искусственное освещение, включавшееся по воле испытуемого. Анализ результатов показал, что в начальный период цикл сна и бодрствования был хаотическим — испытуемые бодрствовали от 4 до 16 ч подряд. Однако спустя несколько месяцев цикл упорядочился и «сутки» человека оказались равными 25,5—26 ч.

Таким образом, биологические ритмы, кроме внешних причин, вызваны ещё и *внутренними факторами*. Эти внутренние стимулы связаны с суточной периодичностью физиологических процессов — выработкой гормонов (прежде всего мелатонина); перевариванием пищи, накоплением усталости, изменением скорости метаболических процессов и т. д.



Рис. 2.29

Коралл *Acropora* sp.

Эксперименты с мадрепоровыми кораллами (рис. 2.29) свидетельствуют о том, что эти животные связывают углерод для построения чехла только в дневное время. Максимум усвоения приходится на время после полудня.

Опыты со слизнями, ведущими ночной образ жизни, показали, что активность некоторых ферментов у них становится максимальной в полночь и достигает минимума в 12 ч дня. У индийского скорпиона (*Heterometrus fulvipes*), также активного в ночное время, уровень фермен-

тов был максимальным в 20 ч и минимальным в 8 ч утра, а уровень гликогена — строго наоборот. У лабораторных мышей обнаружен чёткий цикл азотистого обмена с минимумом в 9 ч утра и максимумом в 21 ч.

Существуют виды, чьи биологические ритмы обусловлены в основном внутренними причинами. Так, большинство арктических млекопитающих (волки, песцы, росомахи) в период полярной ночи или полярного дня сохраняют суточный ритм активности, близкий к 24 ч, а многие полярные птицы активны летом почти круглосуточно, с нерегулярными перерывами для сна. Но есть и такие животные, чьи биологические ритмы в большей мере зависят от внешних условий.



Рис. 2.30

Вееропалый геккон на охоте

У вееропалых гекконов (*Ptyodactylus haselquistii*) (рис. 2.30) обнаружена тесная взаимосвязь суточной активности с внешним фактором — изменением температуры воздуха. Когда в экспериментах искусственно изменяли температурный режим, нормальная ночная активность животных быстро сменилась дневной.

■ ■ ■ Задание*

Психологи традиционно делят людей на «сов» и «жаворонков» в зависимости от того, на какой период приходится их

наибольшая работоспособность. К какой категории вы можете отнести себя? При подготовке ответа можно выполнить практическую работу (методику её проведения см. в 7.3).

Цирканные ритмы (с периодичностью около года) свойственны как растениям (ежегодное образование семян, формирование клубней, листопад), так и животным (линька, размножение, спячка или диапауза, миграции). Ещё в первой половине XX в. было выявлено, что цирканные ритмы во многом объясняются внутренними причинами и являются специфическими для вида. Конкретные экологические условия могут только немного изменять сроки наступления той или иной фазы. В экспериментах цирканные ритмы сохраняются.

Деревья бонсай (карликовые формы, выращиваемые человеком), полученные от листопадных пород умеренного пояса, при содержании в помещении переходят к характерному для диких форм периодическому листопаду (рис. 2.31).

У одного из подвидов золотистых сусликов (*Spermophilus lateralis* spp.), в течение трёх лет содержавшихся в условиях постоянного освещения и стабильной температуры, выявлены цирканные ритмы с периодом около 344 суток. Родившихся в виварии детёнышей выращивали при различных сочетаниях температуры и режима освещения, и во всех случаях ритмы сохранялись.

У бурундуков (*Tamias striatus*), которых содержали при постоянной температуре и равномерном чередовании света и темноты (12 ч «дня» и 12 ч «ночи»), в течение 6,5 лет сохранялся цирканный ритм изменения массы тела, двигательной активности и потребления пищи и воды с периодом 320—340 суток.



а



б

Рис. 2.31

Вяз бонсай, демонстрирующий зависимость цирканных ритмов от внутренних факторов: а — зимой; б — летом

В природных условиях важнейшим фактором возникновения цирканных ритмов является удлинение и укорочение светового дня. В тех местообитаниях, где длина светового дня варьирует незначительно (например, в тропиках, в глубинных слоях океана), на первый план выходят другие стимулы: наступление сезона дождей, изменение температуры воды и т. д.

Свет — важный экологический фактор. Каждая составляющая солнечного спектра играет свою биологическую роль. Изменение освещённости часто выступает в качестве пускового механизма суточных и годовых биологических ритмов. Природа биологических ритмов сложна и не изучена до конца. Циркадные и цирканые ритмы присущи практически всем организмам и регулируются как внутренними (например, физиологическими), так и внешними причинами.



ВОПРОСЫ ДЛЯ КОНТРОЛЯ

- 1.* Каким образом человек использует различные части светового спектра в своей деятельности?
- 2.** Предположите, как можно классифицировать водные растения по отношению к свету. Обоснуйте свои предположения.
- 3.*** Как вы считаете, опасен ли для людей перевод часов на летнее (зимнее) время? Приведите аргументы в пользу своей точки зрения.



ТЕСТОВЫЕ ЗАДАНИЯ

1. В фотосинтезе участвует видимый свет. Длина волн его лучей:

а) 280—320 нм;	в) 400—700 нм;
б) 200—1000 нм;	г) 800—1000 нм.
2. Часть солнечного спектра, способствующая образованию загара, — это:

а) инфракрасная;	в) ультрафиолетовая;
б) красная;	г) фиолетовая.
3. Растения затенённых местообитаний называют:

а) гелиофитами;	в) гидатофитами;
б) гигрофитами;	г) сциофитами.

4. Ритмы с периодичностью, близкой к 24 ч, называют:
 - а) цирканными; в) циркадными;
 - б) сезонными; г) лунными.
5. Выберите из списка примеры цирканых ритмов:
 - а) листопад; в) время бодрствования;
 - б) ночной сон; г) «цветочные часы».

2.6. Биотические факторы

Организмы не существуют обособленно друг от друга — они интенсивно взаимодействуют. Отдельные случаи таких отношений кажутся нам очень «человечными», а другие — жестокими. Каковы законы и причины этих взаимодействий? На этот вопрос можно ответить при изучении биотических факторов.

Р зообр зие вз имоотношений орг низмов

Биотические факторы (биотические взаимодействия) обычно подразделяют на **внутривидовые** (гомотипические) и **межвидовые** (гетеротипические) факторы. Взаимоотношения организмов с себе подобными очень важны для продолжения рода, добывания пищи, защиты от хищников. В то же время при совместном существовании между особями одного вида неизбежна конкуренция за самку, пищевой ресурс, жизненное пространство. Более интенсивные внутривидовые взаимодействия характерны для особей одной популяции. Эти факторы во многом определяют *структуру популяции* (см. гл. 3). Для нормальной жизнедеятельности представители каждого вида также нуждаются в присутствии организмов других видов. Все межвидовые взаимодействия можно условно разделить на несколько групп (табл. 2.1).

Таблица 2.1

Формы межвидовых взаимоотношений

Знаком «—» отмечено отрицательное воздействие,
«+» — положительное, «0» — нейтральное

Тип взаимодействия	Результат взаимодействия для вида		Общий характер взаимодействия
	А	Б	
Конкуренция	—	—	Взаимное подавление обоих видов

Окончание табл. 2.1

Тип взаимодействия	Результат взаимодействия для вида		Общий характер взаимодействия
	А	Б	
Хищничество	+	—	Благоприятно для особей вида-хищника (А) и неблагоприятно для особей вида-жертвы (Б)
Паразитизм	+	—	Благоприятно для особей вида-паразита (А) и неблагоприятно для особей вида-хозяина (Б)
Мутуализм, симбиоз	+	+	Благоприятно для обоих видов
Аменсализм	—	0	Вид Б подавляет вид А, но сам не испытывает воздействия
Комменсализм	+	0	Вид А получает пользу от взаимодействия, виду Б это безразлично

■ Задание**

Попытайтесь привести примеры взаимодействий каждого типа. Как вы считаете, какое взаимодействие может происходить при выделении антибиотиков пенициллиновыми грибами?

Конкуренция

Конкуренция между особями одного вида (**внутривидовая конкуренция**) присутствует практически всегда, и при ограничении ресурсов её интенсивность возрастает. Этому типу внутривидовых взаимодействий свойственна большая *асимметричность*: раньше выросшее растение или более крупное животное, как правило, является сильным конкурентом и оказывает значительное влияние на остальных особей. Сильные конкуренты имеют больше шансов, чем слабые, внести свой вклад в следующее поколение (оставить потомство), что в конечном итоге оказывается благоприятным для вида в целом.

Конкуренция между видами (**межвидовая конкуренция**) возникает в том случае, если виды используют сходные источники пищи, укрытия, места для размножения и т. д. Межвидовая конкуренция может быть **прямой**, когда представители одного вида лишают представителей другого вида доступа к нуж-

ному ресурсу или каким-то иным образом прямо и неблагоприятно воздействуют на них.

Изучение двух видов морских желудей — *Balanus balanoides* (рис. 2.32, а) и *Chtamalus stellatus* — у берегов Шотландии показало, что молодь второго вида (малого морского жёлудя), оседающая около животных первого вида (обыкновенного морского жёлудя), обычно не выживает. При наблюдениях было выявлено, что особи обыкновенного морского жёлудя подавляют представителей малого морского жёлудя, сдвигая или разрушая их раковины. Те немногие рачки рода *Chtamalus*, которые выжили в непосредственной близости от особей более сильного конкурента, оказались намного мельче, чем обычно, и менее плодовиты. В то же время ближе к берегу преимущество получает *Chtamalus*, так как *Balanus* очень чувствителен к обсыханию.

Гораздо чаще встречается **косвенная конкуренция**, когда представители двух видов совместно используют один ресурс и тем самым снижают его доступность друг для друга.

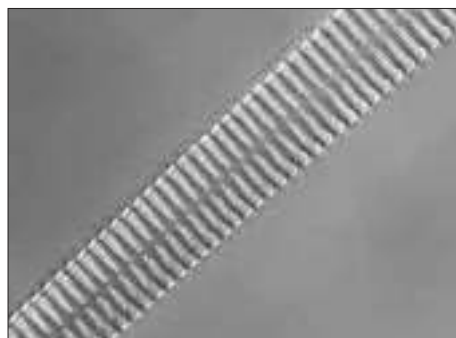
В экспериментах с диатомовыми водорослями — *Asterionella formosa* (рис. 2.32, б) и *Synedra ulna* (рис. 2.32, в) — было обнаружено следующее. Оба этих вида нуждаются в кремнии для постройки внешнего скелета. *Synedra* может



а



б



в

Рис. 2.32

Обыкновенный морской жёлудь (*Balanus balanoides*) (а) и конкурирующие виды диатомовых водорослей (фотографии получены при помощи светового микроскопа) — *Asterionella formosa* (б) и *Synedra ulna* (в)

извлекать кремний из воды при более низких концентрациях, чем *Asterionella*. При выращивании раздельно численность каждого вида была стабильной. При совместном выращивании спустя некоторое время концентрация вещества снизилась до пределов, при которых *Asterionella* уже не был способен использовать имеющийся кремний, в результате чего особи этого вида погибли.

При межвидовой конкуренции воздействия видов друг на друга могут быть *асимметричными*: один вид оказывается более конкурентоспособным, чем другой. В действительности равновесие между угнетённым и угнетаемым видами может неоднократно нарушаться, и преимущество будет переходить от одного вида к другому (по причине их различных требований к остальным ресурсам и условиям).

Описанный выше эксперимент по изучению конкуренции между двумя видами морских желудей показал, что устойчивое сосуществование двух видов возможно, так как один из них (обыкновенный морской жёлудь) является более сильным конкурентом, а другой (малый морской жёлудь) более вынослив в неблагоприятных условиях и способен занимать недоступные для первого вида местообитания.

Хищничество и паразитизм

Хищничество — умерщвление и поедание одного организма (жертвы) другим (хищником). Среди животных выделяют *полифагов*, *олигофагов* и *монофагов* (от греч. *polýs* — многий, многочисленный, *olígos* — немногий, незначительный, *tópos* — один, единственный).

Полифаги (от греч. *phagein* — есть, пожирать) — организмы, способные употреблять в пищу представителей многих видов. Так, гусеница стеблевого мотылька (*Pyrausta nubilalis*) питается более чем 20 видами растений. К полифагам относят многих млекопитающих и насекомых, например, всеядными являются лисы и ежи. **Олигофагами** называют животных, потребляющих в пищу особей нескольких близких видов, например, колорадский жук питается картофелем и некоторыми другими пасленовыми. **Монофаги** — организмы, использующие почти исключительно один вид пищи, например, коала (рис. 2.33) питается



Рис. 2.33

Коала (*Phascolarctos cinereus*) — типичный монофаг

исключительно листьями эвкалипта определённого вида. Один из подвидов коршуна-слизнеда (*Rostrhamus sociabilis plumbeus*) поедает только улиток вида *Pomatia paludosa*.

Задание**

Подумайте, какие из хищников могут в наибольшей степени пострадать от деятельности человека и почему.

Паразитизм отличается от хищничества тем, что паразит хотя бы на одной из стадий своего развития ведёт несамостоятельный образ жизни (прикреплён к хозяину), а также тем, что паразит не убивает свою жертву сразу. Среди паразитов тоже встречаются поли-, олиго- и монофаги.

Ежемуха (рис. 2.34) паразитирует на сотнях видов насекомых. Гельминт эхинококк (род *Echinococcus*) — на человеке, свинье, некоторых плотоядных и грызунах, а один из видов наездников — афелинус (*Aphelinus mali*) — исключительно на кровяной тле (*Eriosoma lanigerum*), вредителе яблони.



Рис. 2.34

Ежемуха свирепая
(*Tachina fera*)

Паразитов также делят на **эктопаразитов**, существующих на поверхности тела хозяина (клещи, вши, блохи), и **эндопаразитов**, обитающих внутри тела (гельминты, паразитические простейшие). В зависимости от тесноты связи с организмом-хозяином выделяют **облигатных** и **факультативных** паразитов. Облигатные паразиты полностью зависят от хозяина и не способны вести свободный образ жизни (от лат. *obligatus* — «обязательный»). Факультативные паразиты могут существовать самостоятельно и использовать другие источники питания в отсутствие организмов-хозяев (от лат. *facultas* — «возможность»).

У облигатного паразитического растения раффлезии Арнольда (рис. 2.35, *а*) вся вегетативная часть погружена в тело хозяина, а огромный цветок диаметром около метра образуется над поверхностью. В то же время растение погребок (рис. 2.35, *б*), способное к автотрофному питанию, относительно слабо зависит от хозяина.

➡ Среди насекомых точно встречаются виды, занимающие промежуточное положение между настоящими паразитами и хищниками. Такие виды называются паразитоидами.

Личинки многих наездников питаются личинками ос. Сначала они ведут себя как паразиты: присасываются к коже личинки-хозяина и аккуратно, не нарушая жизненно важных органов, высасывают её. Совершенство этого приспособления таково, что личинка-хозяйка остается живой, даже потеряв 90% массы! В конце концов личинка наездника убивает и съедает личинку осы, т. е. ведёт себя как хищник.



а



б

Рис. 2.35

Паразитические растения:
а — раффлезия Арнольда (*Rafflesia arnoldii*);
б — погребок малый (*Rhinanthus minor*)

Муту лизм

Взаимовыгодное сосуществование организмов различных видов называют **мутуализмом**. Наиболее интересные примеры мутуализма можно наблюдать в тех случаях, когда взаимодействие между особями разных видов приводит к появлению у них особых форм поведения.

Для жилья креветки рода *Alpheus* выкапывают норы, а бычки рода *Cryptocentrus* используют эти норы как убежище. Креветка почти ничего не видит и, когда покидает жилище, с помощью своих антенн постоянно поддерживает контакт с рыбой, получая таким образом предупреждения о любых изменениях обстановки. Бычок пользуется убежищем, а креветка — зрительной системой партнёра.

Рыба-клоун (рис. 2.36, а) прячется от врагов среди ядовитых щупалец морских одиночных полипов — актиний, которые опасны для хищников, но безопасны для самой рыбы-клоуна, так как её тело покрыто слизью, защищающей от ожогов. Актинии это тоже выгодно — рыба-клоун нападает на приближающихся рыб, в том числе на тех, которые питаются актиниями.



а



б

Рис. 2.36

Примеры мутуалистических отношений между животными: а — рыба-клоун и полип (видны его щупальца); б — африканский носорог (*Diceros bicornis*) и птица-чистильщик

Очень часто встречаются обоюдовыгодные взаимоотношения относительно крупных животных и мелких организмов-чистильщиков, избавляющих их от паразитов (рис. 2.36, б).

Мутуализм может быть облигатным для одного или обоих партнёров, и тогда наряду с термином «мутуализм» употребляют понятие «**симбиоз**». Это более тесный тип взаимоотношений. Он часто сопровождается физическим объединением видов-симбионтов. Примером симбиоза водорослей и грибов являются лишайники. Симбионты заселяют пищеварительный тракт многих животных. Например, в кишечнике термитов живут простейшие, способные расщеплять целлюлозу — основную пищу термитов. Многочисленные бактерии и простейшие обитают в рубце у жвачных и в кишечнике других копытных.

У копытных детёныши заражаются симбиотическими микроорганизмами от матери на ранних стадиях после рождения, и это обстоятельство очень важно для дальнейшего существования животного. В опытах среди тех жеребят, которых сразу после рождения помещали в стерильные условия, наблюдалась очень высокая смертность, а выжившие так и не смогли перейти на питание травой.

■ ■ ■ Задание*

Назовите организмы-симбионты человека. Какую роль они выполняют?

Отношения, нейтральные для одного из видов

Аменсализм — такой тип взаимодействия, при котором один вид причиняет вред другому, не испытывая обратного воздействия и не извлекая для себя видимой пользы. Как правило, это воздействие является результатом того, что один из видов изменяет параметры среды.

➤ Ключевой пример аменсализма можно рассмотреть в взаимоотношениях основных представителей **аллелопатии** (от греч. *allelōn* — взаимно и *pathos* — страдание) — выделения растениями биологически активных веществ, подавляющих другие организмы (см. подробнее 3.4). Так, дубильные вещества, выделяемые в почву дубом, угнетают травянистые растения.

Комменсализм называют такие взаимоотношения между двумя видами, при которых один организм живёт за счёт другого, не причиняя ему видимого вреда.



Рис. 2.37

Прилипалы, «путешествующие» на китовой акуле (*Rhincodon typus*)

Известный пример комменсализма — акулы и рыбы-прилипалы (рис. 2.37). На голове у прилипал имеется большая присоска, с помощью которой животные прикрепляются к акуле (или другой крупной рыбе), черепахе, киту. Они питаются самостоятельно пойманными рачками и рыбками, паразитами с тела своего носителя, объедками с его «стола». Некоторые прилипалы, например акуля ремора (*Remora remora*), в результате эволюции стали настолько зависимыми от хозяина, что при снятии с его тела и помещении в аквариум у них ухудшается дыхание.

Сложность биотических взаимоотношений в природе

При оценке какого-либо взаимодействия как «неблагоприятного» для вида следует учитывать, что виды адаптированы к таким взаимоотношениям и без них существовать не могут. Известна санитарная роль хищников, которые преимущественно поедают ослабленных или зараженных паразитами особей. Многие паразиты используют хищников, съевших заражённое животное, как следующего хозяина.

Плоский червь ремнец — паразит рыб — резко ослабляет организм своего хозяина и вызывает раздувание его тела. В результате рыба всплывает к поверхности воды и становится лёгкой добычей рыбоядных птиц (в основном чаек), которые и являются окончательными хозяевами паразита.

→ Иногда выделяют ещё один тип взаимоотношений — **нейтрализм**, при котором виды, существующие рядом, никак не влияют друг на друга. Нередко же при отсутствии видимых контактов организмы могут быть связаны опосредованно — служить пищей одному и тому же хищнику или паразиту, потреблять один и тот же ресурс (например, воду), в данный момент не находящийся в избытке, и т. д.

Распространение организмов каждого вида ограничено не только абиотическими факторами, но и деятельностью окружающих его живых существ, многие из которых могут быть конкурентами, хищниками или паразитами. В ходе эволюции организмы приспособились к совместному проживанию и выработали специфические адаптации, позволяющие разным видам устойчиво сосуществовать долгое время.

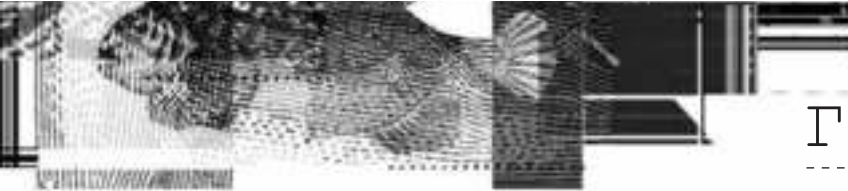
→ ВОПРОСЫ ДЛЯ КОНТРОЛЯ

1. Какие из известных вам типов взаимодействий благоприятны для обоих видов, какие — для одного, а какие — ни для одного из видов?
- 2.** Известно, что бактерии и простейшие, обитающие в отделах желудка коровы, частично перевариваются и погибают. Как вы считаете, почему симбиоз со жвачными всё-таки выгоден этим организмам?
- 3.*** В Панаме живут птицы оропендолы (род *Psarocolius*), в гнёзда которых воловььи птицы (род *Molothrus*) подбрасывают яйца. Птенцы оропендолы часто страдают от оводов, личинки которых крайне их истощают и даже способны вызвать гибель. Птенцы воловьей птицы, как и многих других гнездовых паразитов, вылупляются раньше птенцов хозяина. Они покрыты густым пухом, очень подвижны и к моменту вылупления птенцов оропендолы способны хватать любые движущиеся предметы, в том числе взрослых оводов, могут склёвывать личинок с кожи других птенцов. Попробуйте классифицировать отношения этих трёх видов: оводов, оропендол и воловьих птиц.

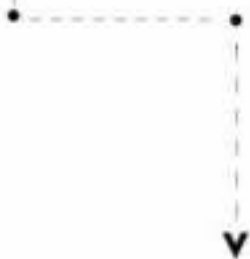


ТЕСТОВЫЕ ЗАДАНИЯ

1. Межвидовая конкуренция сказывается на обоих видах следующим образом:
 - а) отрицательно в равной мере;
 - б) положительно в равной мере;
 - в) отрицательно — на одном виде и положительно — на другом;
 - г) отрицательно, но один из видов испытывает большее воздействие;
 - д) положительно, но обычно один из видов испытывает большее воздействие.
2. Примером отношений «хищник — жертва» являются взаимоотношения между:
 - а) волками в стае;
 - б) гельминтами и организмом-хозяином;
 - в) рыжими и чёрными тараканами;
 - г) лисами и грызунами;
 - д) шакалами и грифами.
3. Организмы-паразиты, которые не выживают без обязательной связи с хозяином, носят название:
 - а) постоянные паразиты;
 - б) временные паразиты;
 - в) облигатные паразиты;
 - г) периодические паразиты;
 - д) факультативные паразиты.
4. Примером комменсализма являются взаимоотношения между:
 - а) акулой и рыбой-прилипалой;
 - б) гельминтами и организмом-хозяином;
 - в) рыжими и чёрными тараканами;
 - г) лисами и грызунами;
 - д) шакалами и грифами.
5. Лишайники являются примером:
 - а) симбиоза (мутуализма);
 - б) паразитизма;
 - в) комменсализма;
 - г) хищничества;
 - д) конкуренции.



Экология популяций



3.1. Демографические характеристики популяции

Экология популяций — самый «молодой» раздел классической экологии, посвящённый вопросам выживаемости, воспроизводства, изменения численности популяций организмов и составлению прогнозов для них. Основные демографические характеристики (от греч. *demos* — народ), описанные ниже, дают представление о временном срезе популяции — о том, что же собой представляют различные популяции в данный конкретный момент времени.

Количественные показатели популяции

Термин **популяция** происходит от латинского слова *populus*, что означает «население». В экологии популяцией называют совокупность особей одного вида, в течение достаточно долгого времени (большого числа поколений) занимающую определённое пространство и способную к самовоспроизведению.

Численность популяции — общее количество особей, составляющих данную популяцию в определённый момент времени. Численность благополучно существующей популяции всегда больше **нижнего предела выживания** — минимального количества особей, при котором популяция не исчезает (по разным экологическим или генетическим причинам). Для различных видов нижний предел выживания разный, но в целом в современных природных условиях устойчивая популяция насчитывает несколько тысяч особей.

Численность популяции амурского тигра (рис. 3.1, а) сейчас составляет несколько сотен особей. Несмотря на строгие меры охраны, возможна ситуация, когда случайные факторы (пожары, наводнения, отстрелы) сократят популяцию настолько, что оставшиеся животные вымрут на протяжении жизни нескольких поколений.

Для синих китов (рис. 3.1, б) нижний предел выживания равен десяткам — сотням особей. Хищническое истребление этих гигантских животных привело к тому, что их осталось слишком мало в Мировом океане. И хотя охота на синих китов давно запрещена, этот вид находится в серьёзной опасности. В аналогичном положении могут оказаться другие крупные животные и редкие растения, например орхидея венерин башмачок (рис. 3.1, в), распространённая в центральных районах нашей страны.



а



б



в

Рис. 3.1

Исчезающие виды: а — амурский тигр (*Panthera tigris altaica*); б — синий кит (*Balaenoptera musculus*); в — венерин башмачок (*Cypripedium* sp.)

→ Встречаются исключения из общего правила. Например, нижний предел выживания у ондатры (рис. 3.2) может составлять всего две особи на 1000 км².

Плотность популяции — численность (или биомасса) особей популяции в пересчёте на единицу занимаемой площади или объёма. Плотность и численность популяции зависят от величин *рождаемости* и *смертности* особей.

Рождаемость — количество особей, появившихся (родившихся, вылупившихся из яйца, проросших из семян, возникших в результате деления и т. д.) в течение сезона размножения или года.



Рис. 3.2

Ондатра, или мускусная крыса (*Ondatra zibethica*)

→ При изучении нескольких групп орг низмов или при мониторинге численности одной популяции величину рожд емости обычно пересчитывают н 100 или 1000 особей. Для этого сн ч л делят число потомков, родившихся з исследуемый период (N_b), н н ч льную численность популяции (N_0). Полученный результат умнож ют н 100 или н 1000 соответственно:

$$\frac{N_b}{N_0} \cdot 100 \text{ или } \frac{N_b}{N_0} \cdot 1000.$$

По данным Федеральной службы государственной статистики России (сокращённо Росстат), рождаемость в популяции человека в России в 2002 г. составила 9,8 новорождённых на каждую тысячу жителей (98 детей на 10 тыс. человек).

→ Отношение $\frac{N_b}{N_0}$ н зыв ют *коэффициентом рождаемости* и обозн ч ют буквой b (от нгл. *birth* — рождение). Коэффициент рожд емости пок зыв ет, сколько потомков в среднем производит к жд я особь з год, з сезон р змножения и т. д. Н пример, если б к терия з один цикл р змножения делится н две особи (д ёт одного потомк), то коэффициент рожд емости р вен единице. Если п р животных производит одного детёныш з один сезон, коэффициент рожд емости р вен 0,5, если троих — 1,5 и т. д.

В демогр фии (н уке о н родон селении) ч сто используют *суммарный коэффициент рождаемости*, который пок зыв ет, сколько детей в среднем появляется у одной женщины в течение её жизни. Учёные обн ружили, что если сумм рный коэффициент рожд емости приблизительно р вен 2 (т. е. у к ждой женщины в сред-

нем рождается два ребёнка), то численность населения будет оставаться стабильной. В 2002 г. в Москве этот показатель был равен 1,21, в Санкт-Петербурге — 1,13, в Российской Федерации в целом — 1,32.

Смертность — количество особей, погибших за определённый период (в исследованиях берут тот же отрезок времени, для которого оценивают рождаемость).

- ➔ Смертность, как и рождаемость, обычно пересчитывают на 100 или 1000 особей: находят отношение числа умерших членов популяции (N_d) к числу особей, живших в начале исследуемого периода, и результат умножают на 100 или 1000:

$$\frac{N_d}{N_0} \cdot 100 \text{ или } \frac{N_d}{N_0} \cdot 1000.$$

По сведениям Росстата, смертность в России в 2002 г. составила 16,3 человека на каждую тысячу жителей.

- ➔ Отношение $\frac{N_d}{N_0}$ называют **коэффициентом смертности** и обозначают буквой d (от нгл. *death* — гибель). Если из 100 животных за год умирает одна особь, коэффициент смертности составляет 0,01, если две особи — 0,02, если погибает половина всех особей — 0,5 и т. д.

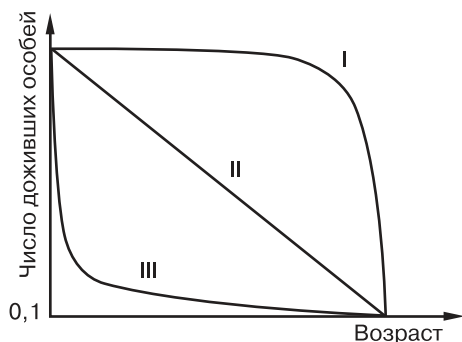


Рис. 3.3

Основные типы кривых выживания вида (отмечены римскими цифрами; по А. М. Гилярову, 1991)

Смертность в разных возрастных группах неодинакова. Доля особей, доживающих до определённого возраста и успешно переходящих в следующую возрастную группу, зависит от того, к какому виду принадлежит данная популяция. Другими словами, виды организмов различаются по смертности и, соответственно, по выживаемости особей разных возрастных групп. Изменения, происходящие в популяции (виде) по мере взросления (и старения) особей, можно изобразить в виде кривой одного из трёх типов (рис. 3.3), которая носит название **кривая выживания**.

■ Задание**

Рассмотрите рисунок 3.3 и попытайтесь определить, какие факторы — внешние (хищники, погода, нехватка пищи и т. д.) или внутренние (старение, другие физиологические особенности) — имеют наибольшее значение для выживаемости особей, принадлежащих популяциям (видам) I, II и III типов. Как вы считаете, какая кривая характерна для популяции человека?

Кривой I типа можно описать те виды животных, у которых смертность слабо зависит от внешних факторов и в основном обусловлена естественными физиологическими причинами. К этой группе видов относят насекомых с коротким сроком жизни (подёнок, дрозофил в лабораторных культурах), а также те популяции крупных позвоночных (слонов, китов, дельфинов) и человека, которые существуют в благоприятных условиях. При неблагоприятных обстоятельствах — в случае голода, эпизоотий или эпидемий (у человека) — резко возрастает смертность особей младшей возрастной группы, и кривая выживания принимает другой вид.

Высокая смертность в ранние периоды жизни (кривая III типа), как правило, связана с воздействием хищников, нехваткой пищи, засухой и т. д. Например, для многих видов мух-падальщиц, паразитов со сложным циклом развития (ленточных червей, круглых червей, сосальщиков) шанс дожить до взрослого состояния ничтожно мал.

Равномерная смертность во всех возрастных группах (кривая II типа) характерна для тех видов, потомство которых мало отличается от взрослых особей и ведёт самостоятельный образ жизни. Например, у пресноводных гидр гибель происходит в основном по случайным причинам и не зависит от возраста особей.

Для того чтобы следить за колебаниями численности, часто используют такой показатель, как *прирост популяции*. **Прирост популяции** — изменение её численности за какой-либо отрезок времени (год, сезон размножения, среднее время жизни поколения и т. д.), которое происходит за счёт родившихся и умерших особей. Прирост популяции равен разности рождаемости и смертности за определённый период. Он может быть как положительным, так и отрицательным и показывает, *на сколько и в какую сторону* изменилась численность группы за исследованный отрезок времени — уменьшилась или увеличилась.

→ **Прирост популяции** — разность численности в конце исследуемого периода и начальной численности. Конечная численность популяции (N_1) включает число особей, уже присутствующих в популяции (N_0), и число родившихся за этот период потомков (N_b), кроме того, её величина зависит от числа погибших особей (N_d):

$$N_1 = N_0 + N_b - N_d.$$

Поэтому прирост популяции ($N_1 - N_0$) можно выразить к коэффициенту з-ность числ родившихся и погибших особей з определённый период:

$$N_1 - N_0 = N_b - N_d.$$

При одинаковых показателях рождаемости и смертности прирост популяций разного размера, скорее всего, будут различаться. Поэтому для удобства вычисления данный показатель также, как рождаемость и смертность, пересчитывают на 100 или 1000 особей:

$$\frac{N_b - N_d}{N_0} \cdot 100 \text{ или } \frac{N_b - N_d}{N_0} \cdot 1000.$$

Это отношение прироста рождаемости и смертности, пересчитанных на 100 или 1000 особей:

$$\frac{N_b - N_d}{N_0} \cdot 100 = \frac{N_b}{N_0} \cdot 100 - \frac{N_d}{N_0} \cdot 100 = \text{Рождаемость (\%)} - \text{Смертность (\%)}.$$

Отношение прироста ($N_b - N_d$) к начальной численности (N_0) называют **коэффициентом прироста**. Он равен разности коэффициента рождаемости и коэффициента смертности:

$$\frac{N_b - N_d}{N_0} = \frac{N_b}{N_0} - \frac{N_d}{N_0} = b - d.$$

Задание**

Определите, каков был прирост населения в России в 2002 г. Положительный он или отрицательный? (Сведения о рождаемости и смертности приведены выше.)

Величина прироста популяции зависит от длительности периода, выбранного для изучения: очевидно, что в увеличивающейся популяции её прирост за 10 лет будет больше, чем за три года. Для анализа динамики численности быстро размножающихся организмов или для сравнения разных популяций используют такой показатель, как **темпы прироста** популяции. Он показывает *скорость*, с которой изменяется численность популяции.

→ Для вычисления темпов прироста популяции (скорости изменения её численности) вычисляют отношение прироста популяции за определённый период времени к начальной численности популяции

(н ходят коэффициент прирост), з тем делят полученную величину н длительность этого период (Δt):

$$\frac{N_b - N_d}{N_0 \cdot \Delta t}.$$

Задание*

Вычислите темп прироста популяции бактерий в комнате за 30 мин, если коэффициент прироста за этот период составил 1,5.

→ Иногда при слежении з дин микой численности используют к н зыв емый *коэффициент роста* (обозн ч ют буквой r). В отличие от коэффициент прирост он предст вляет собой отношение численности популяции в конце период (N_1) к её численности в н ч ле период (N_0):

$$r = \frac{N_1}{N_0} = \frac{N_0 + N_b - N_d}{N_0} = \frac{N_0}{N_0} + \frac{N_b}{N_0} - \frac{N_d}{N_0} = 1 + b - d.$$

Если r больше 1, это озн ч ет, что численность популяции возросл з исследов нный период: $b - d > 0$. При r около 1 её численность был ст бильной: $b \approx d$. При r меньше 1 р змер популяции сок р тился: $b - d < 0$. В р зные периоды своего существов ния все популяции проходят ук з нные ст дии рост численности. Поэтому коэффициенты рост популяций ч сто используют для прогнозиров ния их р звития.

Задание**

Считают, что для человеческих популяций время смены поколений составляет 20—25 лет. Определите, на какой стадии роста находилась популяция населения России в 1960 г. ($r \approx 1,3$), в 1980 г. ($r \approx 1$) и в 2000 г. ($r \approx 0,6$). Как вы считаете, какие опасности могут возникнуть при сохранении такой закономерности?

Возр стной сост в популяции

Возрастной состав (возрастная структура) популяции — численное соотношение особей, принадлежащих к различным возрастным группам, характерным для данного вида. На возрастной состав популяции влияют: средняя продолжительность жизни, время достижения половой зрелости и скорость размножения — особенности, приобретённые видом в ходе эволюции как приспособление к определённым экологическим условиям.



Рис. 3.4

Угорь европейский речной
(*Anguilla anguilla*)

у которых размножение происходит один раз за сезон, после чего самки погибают.

Сходную простую возрастную структуру популяции можно наблюдать у некоторых мигрирующих рыб — лососей и угрей (рис. 3.4). Она свойственна и популяциям растений-однолетников.

Чаще встречаются более сложные варианты возрастной структуры, когда взрослые особи нескольких поколений могут свободно скрещиваться между собой.



Рис. 3.5

Белуха (*Delphinapterus leucas*)

Как правило, популяцию считают стабильной, если в ней значительную долю составляют молодые половозрелые особи. Именно они обеспечивают поддержание численности популяции на уровне, достаточном для процветания вида.

У многих организмов в размножении участвуют только особи одного поколения. Это характерно для насекомых,

мышевидные грызуны (мыши, полёвки) размножаются несколько раз в году. Животные весенних выводков осенью уже участвуют в размножении наряду с родительским поколением. Зверьки, родившиеся осенью, достигают половой зрелости намного позднее, чем весенние (иногда спустя несколько месяцев), и приступают к размножению только в следующем

году. Продолжительность жизни у осенних животных достаточно велика, в то время как весенние чаще всего живут меньше года.

В стаде белух (рис. 3.5) одновременно существуют детёныши этого года рождения (первая возрастная группа), подростки детёныши прошлого года рождения (вторая возрастная группа), а также половозрелые животные в возрасте 2—3 лет (обычно не размножающиеся) и взрослые размножающиеся особи в возрасте от 4—5 до 16—20 лет (третья возрастная группа).

Для древесных растений характерна сходная ситуация: в дубовом лесу опыляют друг друга и дубы в возрасте более 100 лет, и совсем молодые деревья, созревшие недавно.

Половой сост в популяции

Половой состав (половая структура) популяции представляет собой соотношение числа особей разного пола. Половую структуру описывают только для популяций раздельнополых животных (например, членистоногих, позвоночных) и двудомных растений.

Известно, что при оплодотворении вероятность образования зародышей мужского и женского пола одинакова. Однако **первичное соотношение полов**, теоретически равное 1 : 1, может нарушаться в силу различных причин.

Известно, что у лесного лемминга (рис. 3.6) наряду с нормальной X-хромосомой встречается её изменённый вариант, который подавляет действие Y-хромосомы. Зародыши, получившие от матери такую X-хромосому, обязательно разовьются в самочек. Если такая аномалия накапливается в популяции, это может изменить первичное соотношение полов.



Рис. 3.6

Лесной лемминг
(*Myopus schisticolor*)

Вторичное соотношение полов — это соотношение мужских и женских особей в потомстве в момент его появления на свет. Часто смертность мужских и женских зародышей неодинакова. Например, у ондатр новорождённых самок больше, чем самцов.

Третичное соотношение полов характеризует совокупность взрослых организмов. Оно может существенно отличаться как от первичного, так и от вторичного. Например, у пингвинов вылупляется одинаковое количество самцов и самок, но к десятилетнему возрасту на двух самок приходится один самец. У человека на 106 новорождённых мальчиков приходится 100 девочек. К 16—18 годам соотношение полов в результате повышенной мужской смертности выравнивается. К 50 годам третичное соотношение полов составляет 85 мужчин на 100 женщин, а к 80 годам — 50 мужчин на 100 женщин.

У некоторых животных и растений соотношение полов в популяции сильно зависит от влияния внешней среды. Так, у отдельных видов животных, способных размножаться партеногенетически (без участия самцов), популяция в определённое время года состоит только из самок.

Летом популяции тлей представлены только партеногенетически размножающимися самками, а осенью (или в неблагоприятных условиях) появляются самцы. Сходная картина характерна для пресноводных рачков дафний (*Daphnia sp.*).

Существуют виды растений и животных, у которых факторы внешней среды определяют пол будущего потомства.

У ариземы японской (рис. 3.7, а) самые крупные и хорошо развитые клубни дают растения с женскими цветками, а мелкие и слабые — с мужскими цветками.

Если личинка морского червя бонеллии прикрепляется к взрослой самке (рис. 3.7, б), то из неё всегда развивается самец. Если после некоторого пребывания в море она не сможет прикрепиться к взрослой самке, то развивается в самку. Самцы бонеллии в десятки раз меньше самок. Они фактически паразитируют на самках и выполняют единственную функцию — оплодотворение яйца.

У рыжих лесных муравьёв (рис. 3.7, в) из яиц, отложенных при температуре ниже 25 °С, развиваются только самцы, а при более высоких температурах — почти одни самки. Причина этого явления заключается в следующем. Мускулатура семяприёмника, где у самки хранится сперма самца, активизируется при высоких температурах внешней среды, и только в этом случае происходит оплодотворение. Из оплодотворённых яиц развиваются самки. При температуре ниже 25 °С оплодотворение не происходит. Из неоплодотворённых яиц развиваются самцы.



а



б



в

Рис. 3.7

Примеры организмов, у которых пол потомства зависит от абиотических факторов: а — аризема японская (*Arisaema japonicum*); б — бонеллия (*Bonellia viridis*), самка с длинным хоботком; в — рыжий лесной муравей (*Formica rufa*)

➡ В демографии человека принято объединять половую и возрастную структуры и описывать популяцию с помощью *половозрастных пирамид*.

На рисунке 3.8 отчетливо видно, что половозрелая часть населения имеет узкое основание. Это свидетельствует об уменьшении рождаемости и сокращении младшей возрастной группы. Наибольшие спады рождаемости в России наблюдались в 1942—1946 годах (люди в возрасте 70—75 лет в 2017 году), во втором послевоенном поколении (люди в возрасте 48—53 лет в 2017 году) и начиная с 90-х годов прошлого века.

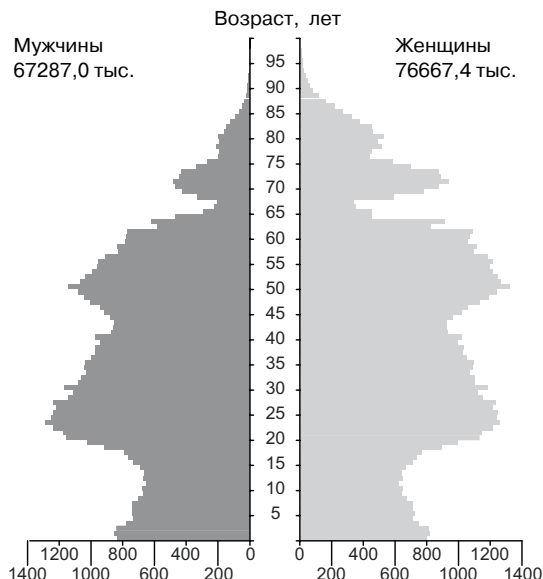


Рис. 3.8

Половозрастная пирамида населения России в 2002 г. (по данным Росстата)

Основные демографические характеристики популяции (численность, плотность, прирост, половой и возрастной составы) отражают состояние популяции в данный конкретный момент времени и являются биологическими особенностями видов, во многом зависящими от условий среды обитания. Изучение этих показателей позволяет делать обоснованные предположения о развитии демографической ситуации в будущем.



ВОПРОСЫ ДЛЯ КОНТРОЛЯ

1. Особенности какой из структур популяции промысловых видов, на ваш взгляд, необходимо учитывать в первую очередь при выдаче охотничьих лицензий?
- 2.*** Каким образом, по вашему мнению, войны влияют на половой и возрастной состав населения воюющих стран? Обоснуйте свою точку зрения.



ТЕСТОВЫЕ ЗАДАНИЯ

1. Популяция — это:
 - а) совокупность взаимосвязанных и взаимозависимых организмов;
 - б) группа особей разных видов, занимающих одну экологическую нишу;
 - в) группа особей одного вида, населяющих определённую территорию, способных к самовоспроизведению;
 - г) совокупность различных групп особей, населяющих одну среду обитания.

2. Дрозд-белобровик и певчий дрозд, обитающие в лесу, составляют:
 - а) одну популяцию разных видов;
 - б) две популяции двух видов;
 - в) две популяции одного вида;
 - г) одну популяцию одного вида.

3. Плотность популяции — это численность популяции в пересчёте на единицу:
 - а) обитаемого пространства;
 - б) времени;
 - в) всего пространства биосферы;
 - г) средней плотности сообщества.

4. В популяции кроликов с численностью 1000 особей и равным соотношением полов за год появилось 100 молодых особей. Коэффициент рождаемости равен:
 - а) 0,1;
 - б) 1;
 - в) 10;
 - г) 100.

5. Вторичное соотношение полов — соотношение мужских и женских особей:
 - а) умерших за год;
 - б) в момент появления на свет;
 - в) достигших половой зрелости;
 - г) приступающих к размножению.

3.2. Пространственная структура популяции

Наиболее полное использование имеющейся территории — задача, которую живые организмы решают весьма успешно. Каждому виду свойственна пространственная структура популяции, закреплявшаяся на протяжении веков и тысячелетий. Особое распределение особей в пространстве в зависимости от их образа жизни и типа использования территории помогает организмам наиболее полно осваивать доступные ресурсы среды (пищевые, защитные, микроклиматические), позволяет снизить беспорядочность их потребления и таким образом повысить шансы на успех для всей популяции. «Пространственный срез» различных популяций даёт возможность рассмотреть эти «счастливые находки» природы.

Р распределение орг низмов в простр нстве

Пространственное распределение особей той или иной популяции во многом зависит от характера биотических взаимодействий организмов и от того, насколько неоднородна среда обитания. Выделяют *три основных типа распределения* организмов в пределах территории, занятой одной популяцией: равномерный, случайный (диффузный) и мозаичный (групповой).

Равномерное распределение особей в природе встречается нечасто. Обычно оно возникает при антагонизме или жёсткой конкуренции между особями, и тогда они редко находятся в непосредственной близости друг от друга.

Личинки обыкновенных морских желудей (*Balanus balanoides*) стремятся не оседать и не прикрепляться рядом с особями своего вида. Известно,

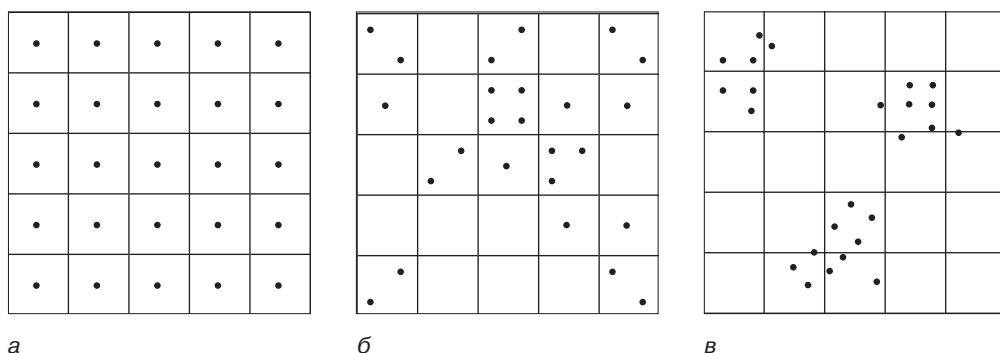


Рис. 3.9

Типы пространственного распределения

что уже прикрепившиеся рачки выделяют особые химические вещества, отпугивающие других личинок.

В старом ельнике деревья распределены равномерно: они удалены друг от друга на расстояние, равное сумме радиусов двух крон, так как в затенённой кронами области развитие проростков не происходит.

Диффузное (случайное) распределение встречается чаще — в среде, где интенсивность и направление действия различных экологических факторов изменяются не закономерно, а случайно.

Распределение большого мучного хрущака (*Tenebrio molitor*) в муке и распределение неколониальных птиц в гнездовье является случайным.

Мозаичное (групповое) распределение можно наблюдать в неоднородной среде, где существуют определённые *градиенты* экологических факторов (направленное изменение их интенсивности), например когда на южной стороне холма теплее, чем на северной. Мозаичное распределение характерно и для организмов, которым свойственно совместное проживание: для животных, держащихся группами, вегетативно размножающихся растений и т. д.



Рис. 3.10

Лежбище тюленей

Мозаично распределены в пространстве общественные насекомые, колониальные птицы, морские млекопитающие (рис. 3.10), а среди растений — ландыш, ветреница, дикая малина, дикая смородина и т. д.

■ ■ ■ Задание*

Рассмотрите рисунок 3.9 и попытайтесь определить, где изображён равномерный тип распределения организмов, где — случайный (диффузный) и где — мозаичный (групповой). Какой тип пространственного распределения может быть характерен для хорошо известных вам животных: белок, куниц, морских котиков, речных чаек? Как вы думаете, от каких факторов может зависеть тип распределения? Как вы считаете, какой тип распределения характерен для большинства растений? Чем это можно объяснить?

Задание**

Предположите, как в условиях города распределены домовые мыши, домашние кошки и собаки, комнатные растения герань и фикус. Образуют ли они, на ваш взгляд, популяции в общепринятом смысле? Попробуйте обосновать свою точку зрения.

Образ жизни и территориальное поведение животных

Большинство животных активно распределяются в пространстве. Их **территориальное поведение**, т. е. способы *активного* взаимодействия с другими представителями вида при использовании *пространственных ресурсов*, тесно связано с образом жизни.

Одиночный образ жизни характерен для многих видов животных. Особи внутри популяции обособлены и независимы, как правило, владеют кормовыми участками. Так, ареал популяции бурых медведей состоит из неперекрывающихся охраняемых участков. У тигров более сложная пространственная структура популяции: самец владеет большой территорией, на которой обитают несколько самок, занимающих более мелкие участки.

Обычно животные поддерживают одиночное существование только на определённых стадиях жизни. Когда подходит время размножения, формируются семьи, в которых развиваются сложные взаимоотношения между половыми партнёрами, между родителями и детёнышами. Особи могут объединяться в родительские пары на короткое время, ограниченное сроками спаривания (таковы тетерева, глухари, некоторые кулики). Другие пары проводят вместе весь период размножения (как представители отряда воробьиных). Есть виды, у которых родительские пары сохраняются в течение многих лет, а иногда — всю жизнь (лебеди, голуби, волки).

Многие виды животных ведут **групповой образ жизни**. Внутрипопуляционные группировки могут носить разные названия: *демы* — у мышевидных грызунов, *прайды* — у львов, *гаремы* — у ушастых тюленей, *стаи* — у волков, шакалов, рыб, а также у птиц, *колонии* — у птиц и общественных насекомых, *поды* — у дельфинов-косаток, *стада* — у копытных, *труппы* — у макаков и т. д.

Группы могут быть различными по размеру (от нескольких особей до десятков и сотен особей), но связи между членами в них всегда более или менее сложные. Взаимоотношения строятся на основе иерархии — подчинения одних членов группы другим. Это явление впервые было описано в начале XX в. у домашних кур и получило название **зоосоциальная иерархия**. Каждая особь в группе имеет соответствующий **ранг**, который зависит от возраста, пола, опыта, силы и других качеств животного.

Особи ранга **доминант** занимают главенствующее положение над всеми особями в группе (от лат. *dominantis* — господствующий). **Субдоминанты** под-

чиняются доминантам, но господствуют над другими членами группировки. *Субординанты* (от лат. *sub* и *ordo* — ряд, порядок) — особи ниже субдоминантов, находящиеся на различных ступенях подчинения.



Рис. 3.11

Лесная мышь (*Apodemus sp.*), изгоняющая пришельца без драки путём демонстрации агрессивных намерений

Члены группы постоянно проверяют и подтверждают свои ранги в различных столкновениях. Прямая борьба происходит редко, гораздо чаще животные используют *ритуальные позы* и звуковые сигналы, свидетельствующие об угрозе (рис. 3.11).

Иерархические взаимоотношения встречаются в группах разных животных — от беспозвоночных (к примеру, некоторых крабов, раков, тараканов) до высших позвоночных. Наиболее сложная система взаимодействий существует в группах приматов (у павианов, шимпанзе, горилл и др.).

Использование территории популяциями животных

Пространственное распределение и образ жизни особей в популяции определяют *интенсивность*, с которой животные используют доступные им пространственные ресурсы. Основными типами использования территории являются *интенсивный*, характерный для оседлых видов, и *экстенсивный*, характерный для кочующих видов.

■ ■ ■ Задание*

Приведите примеры животных, которым присущ тот или другой тип использования территории. Как вы думаете, какие животные занимают промежуточное положение?

Оседлость свойственна животным, ведущим одиночный или семейный образ жизни. Оседлым видам в течение продолжительного времени доступны пищевые, защитные и другие ресурсы относительно ограниченного пространства. Как правило, территория, занимаемая популяцией, разделена на участки, которые принадлежат отдельным особям или группам особей. Интенсивное использование участков даёт ряд биологических преимуществ.

1. Известны места кормёжек, водопой, можно делать запасы пищи, что позволяет избежать расхода энергии и времени на поиск.

Трёхлетние наблюдения за окольцованными и отпущенными в природу джунглевыми курами (этот вид считают предковым для домашних кур; рис. 3.12) показали, что птицы перемещались от места, где были пойманы изначально, в среднем всего на 75 м.

2. На знакомой территории легче быстро передвигаться, прятаться в убежищах и избегать встреч с хищником.

В экспериментах с совами и полёвками (рис. 3.13) было показано, что на поимку зверька, знакомого с территорией, сова затрачивает 10—43 ч, а незнакомого с местом — 4—14 ч. В других экспериментах в камеру с голодной совой запускали 20 хомячков, знакомых с территорией, и 20 — незнакомых. Её добычей стали всего два освоившихся в обстановке хомячка и 11 неосвоившихся.

3. Хозяин хорошего участка имеет больше шансов обзавестись парой и оставить потомство. Во-первых, такой самец является более привлекательным с точки зрения самки. Во-вторых, находясь на своей территории, он обычно имеет преимущество в борьбе с чужаками.

Длительные наблюдения за сусликами показали, что животное, находясь на своём участке, немедленно бросается на чужака, как только тот пересечёт невидимую границу охраняемого участка. Пришелец обращается в бегство, преследуемый хозяином до границы, после чего погоня прекращается. Если хозяин, увлечшись погоней, сам оказывается на чужой территории, положение меняется: убежавший зверёк переходит в нападение и изгоняет преследователя со своего участка.

Аналогичным образом в экспериментах с зелёными саламандрами из 45 встреч 43 выиграли те самцы, которые первыми освоили территорию. Когда «чужаков» поселяли первыми, картина была противоположной.



Рис. 3.12

Банкивский петух (*Gallus gallus*)



Рис. 3.13

Полевка

—► Обр з жизни оседлых животных может изменяться под влиянием внешних обстоятельств. Известно, что при резких снижениях численности популяций грызунов (во время массовых заболеваний, депрессии (уничтожении грызунов человеком), пожаров и т. д.) многие животные покидают свои участки и путешествуют, постепенно собираясь в группы для совместного нового поселения. Такие случаи известны для крыс, песчанок, полевых мышей.

Не вполне правильно предствлять себе одиночных животных «отшельниками», не нуждающимися в общении. Они часто являются хозяевами перекрывающихся участков и пользуются какой-то территорией совместно, причём при появлении хищников могут спрятаться в «соседское» укрытие. «Соседи» узнают друг друга и способны поддерживать дружелюбные отношения, окказываясь вместе в неволе.

Кочевание свойственно животным, предпочитающим держаться достаточно большими группами. Подвижный образ жизни даёт значительное биологическое преимущество: он позволяет снизить нагрузку популяции на кормовые ресурсы и уровень внутривидовой конкуренции за пищу. Животные совершают более или менее постоянные перемещения циклического характера: они периодически посещают одни и те же участки. Поскольку кочевание связано с групповым образом жизни, кочующие животные имеют ряд дополнительных преимуществ за счёт совместного обитания на территории.

1. Животные легче обеспечивают себя кормом, затрачивают меньше энергии на его добычу и способны эффективнее защищаться от чужаков.



Рис. 3.14

Семейная группа гиеновых собак (*Lycaon pictus*)

Охота гиеновых собак (рис. 3.14) на антилоп малочисленными стаями (менее 4—6 животных) часто бывает неудачной. Поиманную добычу могут отнять гиены. В экспериментах было выяснено, что на охоту гиеновые собаки затрачивают в день около 3,5 ч и при этом расходуют очень много энергии. Если гиены украдут у них четверть добычи, гиеновым собакам придётся возобновить охоту и продолжать поиски пищи ещё в течение 8,5 ч. Если эта доля составит 30%, то охота любой продолжительности не позволяет компенсировать израсходованную энергию и становится почти нецелесообразной. Таким образом, поведение гиен создаёт опасность для выживания гиеновых собак как вида.

В составе стада северные олени успешнее добывают корм, чем одиночные особи, так как только крупные самцы легко разбивают наст и более слабые члены стада по возможности пользуются доступным ресурсом. К тому же в группе каждое животное не теряет времени на отслеживание врагов и может потратить его на поиск корма.

2. Группа более эффективно, чем одиночная особь, обнаруживает хищников и защищается от них. Известно, что многие групповые животные — птицы, приматы, копытные — могут подавать звуковые сигналы тревоги: резкие, короткие крики. Эти «позывные», как правило, не видоспецифичны, т. е. сигналы, поданные птицей, будут восприняты другими животными. Во многих русских охотничьих рассказах «сторожем» является сорока.

Возможно и пассивное оповещение об опасности. Раненая или убитая рыба выделяет в воду «вещество испуга». Это может быть кровь, тканевая жидкость, секрет специальных желёз. Например, рыбы верховки (*Leucaspis delineatus*) одинаково реагируют на живую щуку, её изображение или на добавление в воду «вещества испуга». Аналогичное «вещество испуга» описано для домовых мышей. Возможно, именно поэтому неэффективны механические мышеловки, в которые уже попадалась мышь.

У копытных и некоторых приматов стадо при опасности выстраивается в своеобразный «боевой строй» (рис. 3.15), в котором самки с детёнышами находятся в защищаемом центре, а сильные самцы — по краям. Совместно защищаются от хищников скворцы, колониальные и морские птицы.



Рис. 3.15

«Боевой строй» павианов гамадрилов (*Papio hamadryas*)

3. В группе существует возможность передачи опыта молодым через подражание и прямое обучение. Неслучайно групповыми животными являются многие «интеллектуалы» животного мира — слоны, лошади, обезьяны, дельфины, большинство псовых.

Пространственное распределение особей в популяции (равномерное, случайное, мозаичное) и тип использования территории животными (оседлый образ жизни или кочевой) задают пространственную структуру популяции и позволяют организмам успешно приспособиться к особенностям среды и максимально эффективно использовать её ресурсы, не допуская их истощения.



ВОПРОСЫ ДЛЯ КОНТРОЛЯ

1. Как вы считаете, почему волки в весенне-летний период ведут одиночно-семейный образ жизни, а к зиме собираются в стаи?
- 2.*** Каков биологический смысл иерархии в популяциях животных? Как вы считаете, действуют ли в человеческих популяциях биологические факторы, приводящие к возникновению отношений «доминирование — подчинение»?
- 3.*** Известно, что в современном мире роль женщины в обществе сильно изменилась. Женщина стала более социально активной и часто занимает доминирующее положение в семье и коллективе. Как вы считаете, может ли этот факт влиять на рождаемость в популяциях человека?



ТЕСТОВЫЕ ЗАДАНИЯ

1. Равномерное распределение особей характерно для популяций:
 - а) групповых животных;
 - б) хищных рыб, у которых сильна внутривидовая конкуренция;
 - в) растений, размножающихся вегетативно;
 - г) мучного хрущака в муке.
2. Диффузное распределение характерно для популяций:
 - а) групповых животных;
 - б) хищных рыб, у которых сильна внутривидовая конкуренция;
 - в) растений, размножающихся вегетативно;
 - г) мучного хрущака в муке.
- 3.* Лежбище тюленей — это пример распределения:
 - а) равномерного;
 - б) диффузного;
 - в) мозаичного.

4. Одиночный или семейный образ жизни ведут:
 - а) кочевые животные; в) субдоминанты;
 - б) оседлые животные; г) субординанты.
5. При кочевом образе жизни нельзя получить следующее биологическое преимущество:
 - а) возможность эффективного обучения;
 - б) возможность коллективных действий при добыче пищи и обороне от врагов;
 - в) сниженная нагрузка на кормовую базу благодаря постоянному перемещению на другие участки;
 - г) преимущества хозяина хорошего участка (проявляются в ходе территориальных конфликтов).



ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ СВЕДЕНИЯ:
ТИПЫ СТАД У ЖИВОТНЫХ

Групповые животные могут формировать несколько типов «стад». Три основных типа — это так называемые «стада эквипотенциального типа», «стада, следующие за лидером» и «стада, следующие за вожаком».

Стада эквипотенциального типа чаще всего встречаются у стайных рыб или мелких птиц. Принцип их организации таков: всё стадо следует за той особью, которая демонстрирует нехарактерное на данный момент поведение (это может происходить при обнаружении пищи или хищника). В положении ведущего, таким образом, может оказаться любая особь.

В ходе экспериментов в аквариуме, разделённом на две части прозрачной перегородкой, на одну стайку рыб воздействовали электрическим током, животные совершали бросок к дальней стенке аквариума. Точно так же вела себя вторая стайка, которая не испытывала такого воздействия.

Стада, следующие за вожаком, характерны для копытных и перелётных птиц, вожаком обычно является опытная самка (рис. 3.16) или самец. Вожак определяет скорость передвижения, место ночёвки, подаёт сигналы к перестройке стада в случае опасности и т. д. Его нельзя назвать выраженным доминантом, он не пользуется преимуществами в выборе корма или партнёра. Внутри такого стада обычно образуются семейные группы со своей иерархией.

В случае непредвиденных обстоятельств часть такого стада может последовать за молодой и пугливой особью — даже в случае ложной опасности. Напри-

**Рис. 3.16**

Северные олени (*Rangifer tarandus*)

**Рис. 3.17**

Полосатая гиена (*Hyaena hyaena*)

**Рис. 3.18**

Самец (в центре) и самки гамадрила

мер, стада благородных оленей способны совершать немотивированные броски, инициаторами которых являются именно молодые особи.

Стада, следующие за лидером, имеют чёткие отношения доминирования — подчинения. Лидер (у большинства видов животных это самец) не только определяет поведение стада, но и требует жёсткого подчинения, которое выражается в том, что другие животные уступают ему лучшие кормовые участки, места для отдыха, лидер имеет преимущество в выборе партнёра и т. д. За лидером в такой иерархии следует ранг особей-субдоминантов, которые подчиняются только лидеру. Ниже в «пирамиде власти» находятся молодые самцы, не приступившие к размножению, и самки. Детёныши, как правило, занимают самую нижнюю ступень иерархии. В то же время они вместе с матерями обычно представляют наиболее ценную часть популяции, их охраняют наиболее тщательно.

Существуют виды, у которых доминантными особями являются самки. Например, у гиен (рис. 3.17) самки несколько крупнее самцов и занимают главенствующее положение.

У некоторых животных (рис. 3.18) на верхней ступени иерархии находятся одновременно несколько старых самцов, которые совместно осуществляют управление стадом и отличаются высоким уровнем агрессии. Одна особь просто не в состоянии справиться с притязаниями молодых самцов и удержать стадо в подчинении.

Отношения доминирования — подчинения характерны не только для групп животных, но и для семейных пар. Обычно в такой паре один из родителей руководит, а другой подчиняется. Это важный природный механизм, обеспечивающий выживание вида.

Иногда случаются казусы. Известно, что у небольших птиц ткачиков (рис. 3.19), в семьях которых нет чёткого доминирования, самка и самец «спорят» о том, кто будет насиживать кладку. В 50% случаев проигрывает самка, и она насиживает кладку, в 40% — самец. Около 10% птиц договориться не могут и кладка остаются без насиживания.



Рис. 3.19

Семейная пара ткачиков

3.3. Динамика численности популяции

Динамика численности популяции — процесс изменения общей численности популяции и соотношения различных возрастных групп, который происходит под влиянием условий внешней среды. Изучение динамики численности позволяет оценить изменения, происходящие в популяции в настоящее время, а также с некоторой степенью уверенности прогнозировать развитие ситуации.

Освоение новой среды

При попадании организмов в новую среду с избыточными пищевыми и пространственными ресурсами формирующаяся популяция претерпевает изменения (рис. 3.20).

■ ■ ■ Задание***

Рассмотрите рисунок 3.20 и попытайтесь объяснить процессы, протекающие в популяции, попавшей в новое благоприятное местообитание.

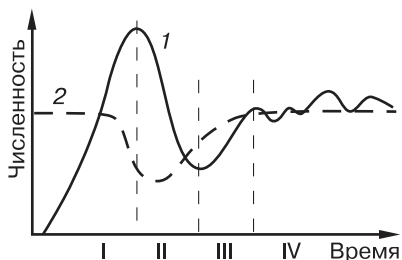


Рис. 3.20

Развитие популяции в новой, избыточной по ресурсам среде (по В. Р. Дольнику, 1998):
1 — кривая изменения численности; 2 — кривая изменения биологической ёмкости среды (см. ниже)

Один из случаев, который можно описать кривой 1, был отмечен на острове Св. Матвея в Беринговом море. В 1944 г. на остров было выпущено 29 особей северного оленя. К 1963 г. их численность возросла до 6000 особей. Однако сразу после этого произошёл резкий спад численности. В результате в популяции осталось не более 50 голов. После этого численность северного оленя медленно возрастала, пока не достигла стабильного уровня.

■ Задание***

Как вы считаете, почему начальный рост популяции северного оленя был столь стремительным? Каковы вероятные причины резкого (катастрофического) снижения численности? Почему вторичное увеличение численности оленя происходило более медленно и в конце концов численность стабилизировалась?

Кривая 1, показанная на рисунке 3.20, имеет довольно сложную форму. Её участки (отмечены римскими цифрами) отражают разные *фазы развития популяции*.

Первая фаза развития популяции — неограниченный рост численности, при котором популяция полностью реализует свой *потенциал размножения*. **Потенциал размножения** — максимально возможное количество потомков, произведенных одной парой особей (при партеногенезе — одной особью) за один сезон размножения.

У тлей, дающих за лето пятнадцать и более партеногенетических поколений, при том что одна самка за один раз откладывает в среднем 50 яиц, потенциал размножения достигает астрономических показателей: 50^{15} , или 30 517 578 125 000 000 000 000 000, особей.

Эту фазу развития популяции можно описать при помощи *модели экспоненциального роста*. Такая модель отражает рост численности популяции в геометрической прогрессии, т. е. такое увеличение количества особей, при котором каждое следующее поколение в несколько раз многочисленнее предыдущего. Экспоненциальный рост численности наглядно демонстрируют простейшие и бактерии в условиях лабораторных опытов (при неограниченном источнике пищи).

➔ Уравнение для построения математической модели экспоненциального роста включает такие параметры, как численность первого поколения (начальная численность — N_0), коэффициент рождаемости (b) и коэффициент смертности (d) в популяции (см. также 6.1).



Модель экспоненциального роста была предложена в 1798 г. Томасом Робертом Мальтусом (1766—1834) в труде «О законе роста населения». Мальтус, известный английский демограф и экономист, впервые обратил внимание на тот факт, что численность популяции человека растёт по экспоненте (в геометрической прогрессии).

Вторая фаза развития популяции представляет собой катастрофическое снижение численности особей, происходящее по причине резкого уменьшения **биологической ёмкости среды** (кривая 2 на рис. 3.20). Биологическая ёмкость среды — способность окружающей среды обеспечивать нормальную жизнедеятельность *определённому числу организмов* без заметного её нарушения. Под влиянием абиотических факторов и деятельности организмов размер биологической ёмкости среды может изменяться. Соответственно изменяется и максимальное количество особей, которое может устойчиво существовать на данном участке среды без его разрушения. Снижение биологической ёмкости среды, как правило, приводит к ужесточению внутривидовой конкуренции за жизненно необходимые ресурсы (пищу, пространство и др.).

В качестве одного из примеров определения биологической ёмкости среды в буквальном смысле в пробирке можно привести опыты русского биолога и исследователя в области медицины Георгия Францевича Гаузе (1910—1986) по выращиванию двух видов инфузорий-туфельек (рис. 3.21). Для одной из них, *Paramecium aurelia*, биологическая ёмкость среды (пробирки) оказалась равна 105 особям, для более крупной *Paramecium caudatum* — 64.

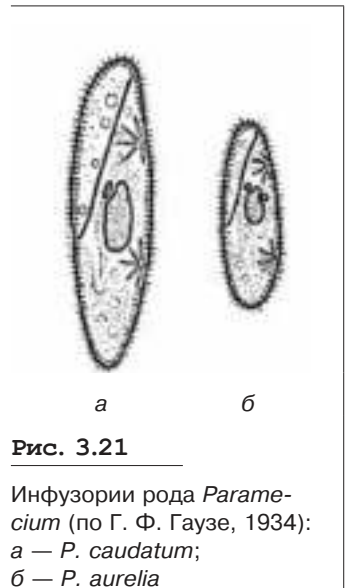


Рис. 3.21

Инфузории рода *Paramecium* (по Г. Ф. Гаузе, 1934):
а — *P. caudatum*;
б — *P. aurelia*

В третьей фазе развития популяции происходит чуть более медленный, чем вначале, рост численности, который почти прекращается, когда количество особей достигает максимального значения, определяемого биологической ёмкостью среды. Эту фазу описывают так называемой *логистической кривой*.

→ Уравнение логистической кривой кроме параметров, используемых при построении модели экспоненциального роста, содержит параметр K — верхний предел увеличения численности популяции, ограниченный биологической ёмкостью среды (см. также 6.2).

Впервые уравнение логистического роста численности было предложено бельгийским математиком Пьером Франко Ферхюльстом (1804—1849) в 1838 г. и независимо от него — американскими исследователями Раймондом Пирлом (1879—1940) и Лоуэллом Дж. Ридом (1886—1966) в 1920 г. В настоящее время уравнение логистического роста чаще всего называют уравнением Ферхюльста—Пирла.

Согласно модели логистического роста вначале увеличение численности происходит бурно. По мере снижения биологической ёмкости среды (например, истощения пищевых ресурсов) смертность увеличивается, темп роста снижается и численность становится стабильной («выходит на плато»). Такая динамика численности была характерна для стада овец, завезённых на Тасманию в XIX в.

В четвёртой фазе развития популяции происходят небольшие колебания численности около единственного значения, задаваемого биологической ёмкостью среды. Характер изменений, которые претерпевает популяция в этот период, во многом зависит от биотических факторов — взаимоотношений с представителями других видов. Теперь они играют главную роль в регуляции численности. Четвёртую фазу описывают при помощи модели «хищник — жертва» (или «паразит — хозяин»). Согласно этой модели в стабильных экологических условиях возникают закономерные взаимосвязанные устойчивые колебания численности «хищников» и «жертв» (или «паразитов» и «хозяев»).

➤ В 1926 г. итальянский математик Вито Вольтерр (1860—1940) построил свою знаменитую математическую модель, описывающую численные взаимоотношения «хищников» и «жертв» в экологических системах. Однако потом оказалось, что такую же систему уравнений годом раньше составил американский физик Альфред Джеймс Лотка (1880—1949). Поэтому в научной литературе данную модель называют математической моделью Лотки—Вольтерра. Кроме физики и биологии её применяют в химии, медицине и демографии.

В уравнениях для построения модели используют те же показатели, что и для модели экспоненциального роста: начальную численность, коэффициент рождаемости «жертвы», коэффициент смертности «хищника». Кроме них вводят дополнительные параметры: коэффициент хищничества для «жертвы», который отражает вероятность «жертвы» быть пойманной, и коэффициент хищничества для «хищника», отражающий «пользу», приносимую каждой пойманной «жертвой» конкретному «хищнику» (см. также 6.3).

Если вернуться к примеру динамики численности северного оленя на острове Св. Матвея, первоначальный быстрый рост численности был обусловлен тем, что размножение животных не было ограничено. Популяция полно-

стью реализовала свой потенциал размножения. В дальнейшем произошло резкое снижение биологической ёмкости среды: олени съели всю растительность, годную в пищу, что привело к голоду и массовой гибели. Позже выжившие особи вновь начали размножаться. Постепенно вслед за увеличением количества пищи численность особей увеличивалась и стабилизировалась около максимально возможного значения.

Типы динамики численности популяций в освоенном местообитании

Выделяют три основных типа динамики численности популяции: стабильный, лабильный и эфемерный (рис. 3.22).

Задание**

Посмотрите на рисунок 3.22 и предположите, каким растениям и животным соответствует каждый график: крупным или мелким, более или менее плодовитым, долгоживущим или короткоживущим, с высокой или низкой ежегодной смертностью.

Для **стабильного типа динамики численности** (кривая 1 на графике) характерны небольшие колебания количества особей. Популяции, имеющие такой тип динамики численности, хорошо адаптированы к действию неблагоприятных факторов среды. Это свойственно крупным и долгоживущим животным с небольшим количеством потомков и низкой ежегодной смертностью. Период колебания численности составляет 10—20 лет (например, у копытных). К этой группе принадлежат киты и дельфины, человекообразные обезьяны, орлы, некоторые рептилии и другие животные.

Лабильный тип динамики численности (кривая 2 на графике) отличается более коротким периодом колебаний (5—11 лет) и тем, что численность изменяется в десятки раз. Такая динамика характерна, как правило, для некрупных животных, доживающих до 10—15 лет, с более высокой плодовитостью и смертностью, чем у животных первой группы. В эту группу входят крупные грызуны, зайцеобразные, некоторые хищники, многие птицы, насекомые с длинным циклом развития.

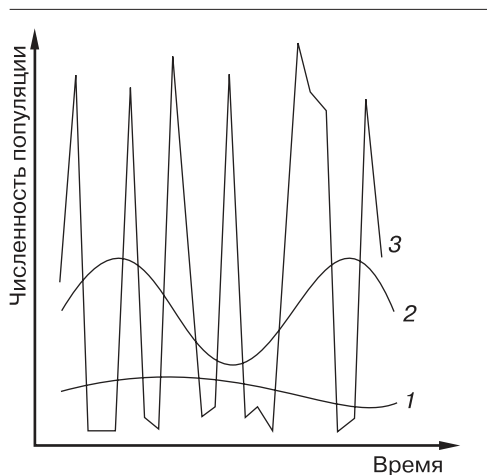


Рис. 3.22

Типы динамики численности популяций (по С. А. Северцову, 1941)

Эфемерный тип динамики численности (кривая 3 на графике) отличается резкими частыми колебаниями численности, при которых количество особей может многократно (в сотни раз) сокращаться и увеличиваться. Перепады от минимума к максимуму численности могут происходить даже в течение одного сезона, но, как правило, длительность одного колебания составляет 4—5 лет. Такая динамика численности характерна для короткоживущих (до трёх лет) плодовитых животных с высокой сезонной гибелью, например для мелких грызунов, некоторых насекомых.

Динамику численности популяций при освоении новых местообитаний можно описать моделями экспоненциального (геометрического) и логистического роста. При дальнейшем существовании популяция в зависимости от своих биологических особенностей обнаруживает лабильный, стабильный или эфемерный тип динамики численности. В фазе стабильного существования популяции динамика численности во многом определяется взаимодействиями «хищник — жертва» и (или) «паразит — хозяин», для которых разработаны свои математические модели.



ВОПРОСЫ ДЛЯ КОНТРОЛЯ

- 1.* Можно ли сказать, что рождаемость и потенциал размножения, рассчитанные для одного интервала времени, — это одно и то же?
- 2.** Почему в Австралии увеличение популяции кроликов (довольно крупных животных) первоначально происходило в соответствии с экспоненциальным законом, характерным для изменения численности популяций простейших организмов?
- 3.*** Известно, что человеческая популяция в настоящий момент находится в стадии экспоненциального роста. Как, по вашему мнению, могут в дальнейшем развиваться события: экспоненциальный рост будет продолжаться (согласно экспоненциальной модели) вплоть до необратимой деградации окружающей среды и резкого падения численности (это предсказывал Т. Р. Мальтус) или рост замедлится и численность достигнет некоторой стабильной отметки (по модели логистического роста)?



ТЕСТОВЫЕ ЗАДАНИЯ

1. Буквой K в уравнении для построения модели логистического роста обозначают:

- а) верхний предел увеличения численности популяции, ограниченный биологической ёмкостью среды;
 - б) скорость размножения, характеризующую общее число производимых потомков;
 - в) коэффициент внутривидовой конкуренции;
 - г) конечную скорость прироста, показывающую, во сколько раз возрастёт численность популяции при экспоненциальном росте.
- 2.** Математическая модель экспоненциального роста численности популяции была предложена учёным:
- а) Ю. Либихом;
 - б) Т. Р. Мальтусом;
 - в) В. Вольтерра;
 - г) И. И. Шмальгаузенем.
- 3.** Математическую модель, описывающую колебания численности в системе «хищник — жертва», называют моделью:
- а) Лотки—Либиха;
 - б) Мальтуса—Вольтерра;
 - в) Лотки—Вольтерра;
 - г) И. И. Шмальгаузена.
4. Изменение общей численности популяции и соотношения различных возрастных групп, которое происходит под влиянием условий среды, называют:
- а) динамикой полового состава;
 - б) динамикой численности популяции;
 - в) динамикой смертности;
 - г) динамикой рождаемости.



ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ СВЕДЕНИЯ: ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ СТРАТЕГИЯ ВИДА

Три типа динамики численности, описанные выше, напрямую связаны с тем, какой именно **экологической стратегии** (стратегии выживания) следует данный вид — K - или r -. Между этими двумя вариантами существует практически непрерывный ряд переходов.

K -стратегия — такой путь развития организмов, при котором успех популяций зависит от совершенствования адаптаций и увеличения конкурентоспособности организмов. Для видов, реализующих эту стратегию, характерно небольшое количество потомков, низкая смертность, высокая продолжительность жизни, длительная забота о детёнышах. Численность таких видов в основном ограничена ёмкостью среды (K) и может долго сохраняться на уровне, близком к максимальному. Динамика численности K -стратегов в норме имеет стабильный характер. Проще говоря, K -стратегия — *стратегия качества по-*

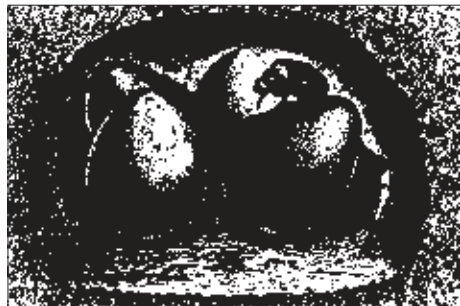


Рис. 3.23

Самка испанского копра (*Coprins hispanus*) на «грушах» из навоза, в которых развиваются личинки (по Ж.-А. Фабру, 2001)

нок (рис. 3.23). Сама она при этом не питается. В то же время большинство видов насекомых довольно плодовиты.

Стратегию, которая предусматривает большое количество потомков при высоком уровне их смертности, называют *r-стратегией*. Она основана не на качестве потомства, а на *его количестве*. Как правило, потомство у *r*-стратегов мелкое, и родительские особи о нём почти не заботятся. Для таких популяций характерны значительные колебания численности. Их преимущество при конкуренции заключается в высокой интенсивности размножения. Например, лу-

томства. Самый яркий пример таких животных — слоны, у которых беременность длится около двух лет, несамостоятельный детёныш находится с матерью более десяти лет и отсутствуют естественные враги-хищники. Среди птиц выраженные *K*-стратеги — беркут и альбатрос.

K-стратегия также характерна для некоторых крупных насекомых, живущих несколько лет. Например, самка испанского копра (жука-навозника) откладывает за сезон только четыре яйца и обеспечивает потомство свежей пищей всё время, пока длится развитие личинок. Сама она при этом не питается. В то же время большинство видов насекомых довольно плодовиты.



а



б

Рис. 3.24

Жук майки:

а — личинка (по Ж.-А. Фабру, 2001);

б — взрослая особь

жуки майки (род *Meloe*), личинки которых паразитируют на земляных пчёлах, откладывают за один раз до 5000 яиц и в течение сезона делают несколько кладок. Крохотная личинка майки — триунгулин (рис. 3.24) — вынуждена самостоятельно добираться до гнезда пчелы, используя все возможности: подвернувшуюся пчелу-хозяинку, паразитическую пчелу, любое другое насекомое. Понятно, что процент гибели личинок очень велик.

Среди млекопитающих *r*-стратегия выражена у мелких мышевидных грызунов. У них за один раз рождается 10—12 детёнышей. Несамостоятельное по-



а



б



в

Рис. 3.25

Земноводные — r -стратегии и K -стратегии:

а — зелёная жаба (*Bufo viridis*);

б — жаба-повитуха, или обыкновенная повитуха (*Alytes obstetricans*);

в — суринамская пипа (*Pipa pipa*)

томство остаётся с матерью всего несколько недель. Среди птиц такая стратегия присуща, например, волнистым попугайчикам.

Земноводным в целом свойственна r -стратегия. Так, зелёная жаба (рис. 3.25, а) производит за сезон 8—12 тыс. икринок. Но бывают исключения: жаба-повитуха, наматывающая кладку икры на задние лапы, производит за год всего 150 икринок. У некоторых южноамериканских земноводных рода *Pipa* самец (или самка) вынашивает икру в особых ячейках в коже спины. Пипы за один раз производят 100 икринок. Обе эти амфибии — K -стратегии (рис. 3.25, б, в).

Как правило, r -стратегия характерна для паразитов и для видов, обитающих в нестабильных условиях, — планктонных организмов, сорных растений и т. п. Организмы, являющиеся r -стратегиями, получают преимущества при заселении неосвоенных местообитаний (например, новых островов). В дальнейшем они уступают ведущее положение K -стратегам.

В стабильных условиях в сообществах растений и животных доминируют K -стратегии. Виды, являющиеся r -стратегиями, здесь тоже присутствуют, но выживание их потомства во многом зависит от случайных причин. Например,

благополучие потомства мух-падальщиц (r -стратегов) напрямую зависит от количества погибших животных.

Вообще, *качество* и *количество* потомков состоят в обратной зависимости, так как расходы энергии и времени на воспроизводство, которые организм может себе «позволить», всегда ограничены. Например, растение может давать небольшое количество крупных плодов, снабжённых большим запасом питательных веществ, или же — много мелких плодов. Затраты ресурсов на производство потомков первого и второго типов примерно одинаковы. Такая закономерность справедлива и для млекопитающих: у них рождается или несколько крупных, развитых детёнышей (копытные, ластоногие), или 10–12 мелких (грызуны).

3.4. Факторы, влияющие на динамику численности популяции. Саморегуляция

Какие факторы и механизмы позволяют организмам «сообразить», что размножаться далее не следует, что численность популяции близка к критической? Каким образом в популяции замедляется размножение? Эти вопросы пока остаются открытыми. Для поиска ответов экологи изучают факторы, которые влияют на динамику численности популяций. Условно эти факторы объединяют в две группы по их происхождению: одни являются внешними для популяции, другие порождены процессами, протекающими внутри неё.

Ультимативные факторы

Изменение климата и погодных условий, стихийные бедствия

Действие *ультимативных факторов*, входящих в эту группу, — прямое, ненаправленное и неизбежное для любого вида. Оно проявляется при существенном отклонении интенсивности абиотических экологических факторов (температуры, влажности, освещённости и др.) от значений, оптимальных для организмов. Влияние ультимативных факторов приводит к увеличению или снижению смертности в популяции. Последствия для популяции тем значительнее, чем больше сила действия фактора отклоняется от оптимума и чем меньше толерантность организмов.

В некоторых случаях ультимативные факторы сказываются на рождаемости (главным образом косвенно), например, когда пищевые ресурсы становятся малодоступными или, наоборот, обильными.

Колебания численности происходят как при обычных периодических изменениях погодных условий, так и при неожиданных, экстремальных отклонениях температуры, влажности, освещённости и других факторов от нормы.

На одном из небольших островов у юго-западного побережья Англии обитает популяция диких кроликов (рис. 3.26). Осенью благоприятного по кормовым условиям года её численность достигла максимального уровня — 10 тыс. особей, а однажды после холодной и мало-кормной зимы сократилась до 100 животных.

Ещё более значительны сезонные колебания численности мух, комаров и некоторых других беспозвоночных: их количество может изменяться в сотни тысяч и миллионы раз в течение года.



Рис. 3.26

Европейский дикий кролик (*Oryctolagus cuniculus*)

Пожары, наводнения, засухи, заморозки, гололеды и другие внезапные, сильные, а иногда долгосрочные изменения условий среды обитания часто значительно влияют на численность вида.

Недоступность корма, например неурожай рябины, увеличивает смертность в популяциях мелких птиц (синиц, воробьёв). Длительная гололеда зимой часто приводит к массовой гибели копытных.

Межвидовые взаимоотношения

Межвидовая конкуренция. Принцип конкурентного исключения.

Между видами, использующими одинаковые ресурсы среды, конкуренция тем острее, чем более сходны требования этих видов, т. е. чем ближе их *экологические ниши*.

Экологическая ниша вида — это комплекс оптимальных для него условий среды и необходимых взаимодействий с другими популяциями и видами. Экологическая ниша определяет *функции вида* в экосистеме.

В настоящее время в Европе конкурируют два близких вида животных (рис. 3.27) — короткопалый рак (*Astacus astacus*) и длиннопалый рак (*A. leptodactylus*). Ареал последнего расширяется, так как особи растут быстрее, более плодовиты и способны питаться круглосуточно, а не только

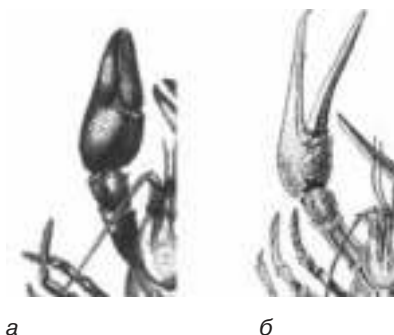


Рис. 3.27

Клешни короткопалого (а) и длиннопалого (б) раков (по Т. Г. Хаксли, 1977)

ночью, как представители первого вида. Ареал широкопалого рака сокращается.

Влияние межвидовой конкуренции на численность популяций было экспериментально исследовано Г. Ф. Гаузе. Он показал, что виды, близкие по происхождению, со сходными требованиями к среде, не могут долго жить вместе на одной территории — один вид вытесняет другой. Это явление вошло в литературу под названием **теоремы Гаузе (правила Гаузе)**. Сегодня оно более известно как **принцип конкурентного исключения**.

В природе доказательства принципа Гаузе обнаружить очень трудно. Примеры процесса вытеснения можно наблюдать при изучении островных фаун. Неоднократно было отмечено, что конкурирующие виды не встречаются на одной территории, хотя и заселяют близко расположенные острова.

Во время исследования островов у северного побережья Средиземного моря на каждом из них были обнаружены ящерицы (род *Lacerta*) лишь одного из двух близких видов, но никогда — представители обоих видов.

Конкурентоспособность видов зависит не только от скорости размножения особей, их подвижности, эффективности поиска пищи и других особенностей, но и от условий внешней среды.

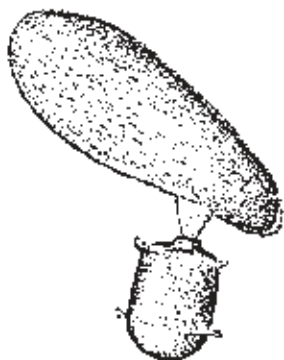


Рис. 3.28

Хищная инфузория (*Didinium nasutum*), пожирающая инфузорию-туфельку (по Г. Ф. Гаузе, 1934)

В экспериментах с лабораторными популяциями двух видов дрозофилы — *Drosophila pseudoobscura* и *Drosophila serrata* — было выявлено, что при температуре 19 °С и ниже первый вид вытеснял второй, а при температуре выше 25 °С преимущество получал второй вид.

Взаимоотношения «хищник — жертва» и «паразит — хозяин». В этих взаимодействиях один вид является объектом питания для другого вида. Численности видов, образующих такие пары, изменяются взаимосвязанно. Вслед за увеличением количества особей «жертвы» («хозяина») возрастает (с некоторым запаздыванием) численность «хищника» («паразита»), что приводит к усиленному истреблению «жертвы» («хозяина») и сокращению плотности ее популяции. Это, в свою очередь, влечет за собой падение численности «хищника» («паразита»).

Таким образом, возникают благоприятные условия для увеличения популяции «жертвы», и цикл снова повторяется.

В экспериментах, поставленных на двух видах инфузорий, Г. Ф. Гаузе пытался воссоздать условия, в которых «хищники» и «жертвы» (рис. 3.28) могли бы сосуществовать продолжительное время. Сначала ему не удавалось воспроизвести повторяющиеся циклы изменения численности в системе «хищник — жертва». Инфузории *Didinium nasutum* полностью истребляли своих «жертв» — инфузорий-туфелек (*Paramecium caudatum*) и вымирали сами. Таким образом, происходило лишь одно колебание численности.

Последовательные циклы, сходные с рассчитанными, получались тогда, когда Гаузе регулярно добавлял особей обоих видов в культуру. «Иммигранты» заселяли участки пониженной плотности, что позволяло поддерживать колебательный процесс.

→ **З п з д в н и е р о с т ч и с л е н н о с т и « х и щ н и к » (« п р з и т ») в с л у ч а е м о н о - и о л и г о ф а г и и м о ж н о о б ъ я с н и т ь т е м , ч т о « х и щ н и к » (« п р з и т ») н е м о ж е т п е р е х о д и т ь н д р у г и е и с т о ч н и к и п и щ и п р и н и з к о м о б и л и и « ж е р т в » (« х о з я е в »).** К к т о л ь к о к о л и ч е с т в о п и щ е в ы х р е с у р с о в в о з р с т ё т д о н е к о т о р о г о д о с т т о ч н о г о у р о в н я , п о п у л я ц и я « х и щ н и к » (« п р з и т ») н ч и н е т у в е л и ч и в т ь с я . П р и п о л и ф а г и и о т с р о ч к м о ж е т б ы т ь с в я з н с т е м , ч т о с к п л и в н и е (г р е г ц и я) о с о б е й « х и щ н и к » (« п р з и т ») н т е р р и т о р и и , з н я т о й р с т у щ е й п о п у л я ц и е й « ж е р т в ы », п р о и с х о д и т н е с р з у , п о с т е п е н н о .

В лабораторных экспериментах другие исследователи продемонстрировали изменения, подобные тем, которые наблюдал Г. Ф. Гаузе, в системе «паразит — хозяин». Взаимосвязанные колебания численности вредителя плодовоовощных культур — тепличной белокрылки (*Trialeurodes vaporariorum*) и *Encarsia formosa* — «паразита» из семейства наездников, используемого для биологического контроля за белокрылкой (рис. 3.29), происходили в течение 22 поколений.



Рис. 3.29

Самка *Encarsia formosa*, откладывающая яйца в личинку белокрылки

Косвенные взаимоотношения растений. Все растения в той или иной мере преобразуют среду своего обитания, изменяя интенсивность экологических факторов, определяющих микроклимат. Растительные организмы уменьшают поток солнечной радиации, поглощают фотосинтетически активные лучи. Они влияют на температурный режим в местообитании, влажность воздуха, скорость ветра, т. е. играют роль *средообразователей* (рис. 3.30). Производимые изменения сказываются на остальных обитателях, в том числе на других растениях. Это наиболее распространённый и универсальный способ взаимодействия растительных организмов при их совместном существовании.

Под пологом тенистых дубовых лесов преобладают крупнолистные тенелюбивые травы, а светолюбивых растений с мелкими листьями очень мало.

Другой путь взаимодействия растений — через почву и надпочвенный слой мёртвых растительных остатков.

Лесная подстилка из твёрдых листьев дуба, бука и других древесных пород — серьёзное препятствие на пути проростков к свету. Кроме того, установлено, что в свежем опаде ели и бука содержатся вещества, тормозящие прорастание семян растений.

Ещё один важный путь взаимного влияния растений — *через выделение химических веществ в окружающую среду*. Такие взаимодействия получили на-



а



б

Рис. 3.30

Влияние растений-средообразователей: а — елей в еловом лесу; б — мха сфагнума (*Sphagnum palustre*) на болоте

звание **аллелопатия**. Живые растения выделяют нектар, эфирные масла, смолы, непредельные углеводороды, этилен, водород, фитонциды и прочие соединения, которые оказывают различное (отрицательное или положительное) влияние на другие организмы. Известно, что некоторые огородные растения нельзя высаживать вместе. Например, несовместимы такие культуры: капуста — лук; фасоль — горох; капуста — горчица; капуста — земляника; томат — картофель; томат — горох; картофель — сельдерей; картофель — подсолнечник.

Химические соединения, высвобождаемые в почву некоторыми видами растений, препятствуют жизнедеятельности семян других видов.

Багульник болотный (*Ledum palustre*) подавляет прорастание семян другого обитателя болот — клюквы обыкновенной (*Oxycoccus palustris*). Выделения корневищ пырея снижают всхожесть семян культурных злаков.

Исследования в Центральном-Лесном заповеднике (Тверская область) показали, что в еловых лесах покоящиеся семена многих растений не могут прорасти из-за угнетающего влияния корневых выделений взрослых елей. Если пространство между корневыми системами соседних деревьев изолировать, на нём поселяются нетипичные для данного сообщества растения.

Иногда, высвобождая химические вещества в среду, растительные организмы оказывают положительное действие. Такие случаи известны для ряда культурных растений, например для чеснока и земляники. Семена некоторых паразитических растений начинают активно развиваться, если на них влияют корневые выделения вида-хозяина.

Фитонциды и антибиотики растений выполняют защитную роль в их жизни, потому что, попадая в воздух или субстрат, они действуют губительно на патогенные организмы.

Листья черёмухи выделяют летучие вещества, которые убивают различных простейших, бактерий и отпугивают мух. Активными производителями летучих фитонцидов являются можжевельник, сосна, тополь, эвкалипт.

Сигнальные факторы

Пространственные, пищевые и другие жизненно важные ресурсы в природе ограничены. По мере роста численности популяции её давление на окружающую среду усиливается. Между особями ужесточается конкуренция, и постепенно возрастает их неизбежная гибель. Если популяция не успеет отреагировать на увеличение смертности и рост её численности не будет ограничен, это может поставить под угрозу существование всей совокупности особей.

Если жёсткая внутривидовая конкуренция за источники корма отсутствует, значительный рост численности популяции может привести к истощению ресурсов, вспышкам массовых заболеваний (эпизоотий), а затем — к необратимому ухудшению среды обитания и вымиранию популяции. В природе этого, как правило, не происходит. При перенаселении включаются особые *механизмы регуляции численности (плотности)*, приобретённые видом в ходе эволюции.

В отличие от ультимативных факторов, действие которых напрямую изменяет смертность и рождаемость особей, **сигнальные факторы** участвуют в регуляции динамики численности популяций косвенным образом. Их влияние проявляется в тот момент, когда количество особей отклоняется от оптимального уровня в большую или меньшую сторону. В ответ на действие сигнальных факторов количественные показатели популяции (рождаемость, смертность, плотность и т. д.) приходят в соответствие с биологической ёмкостью среды, которая существует на тот момент времени.

Авторегуляция (саморегуляция) *численности и плотности популяции* — общебиологическое явление. Она свойственна видам, находящимся на разных уровнях эволюционного развития. Описаны различные механизмы авторегуляции у цианобактерий, многих насекомых, рыб, рептилий и других групп организмов. Наиболее изучена авторегуляция у птиц и млекопитающих.

Среди сигнальных факторов одним из важнейших является **сигнальный уровень численности** популяции. Если частота встреч взрослых особей превышает определённый порог, то в популяции начинают действовать регулирующие механизмы, направленные на снижение численности или ограничение её роста. Они основаны на изменении морфологических, физиологических, поведенческих особенностей. К таким механизмам относят выселение особей из популяции, каннибализм, развитие стресса, выделение в среду веществ, подавляющих рост, развитие и размножение особей и увеличивающих их смертность (см. подробнее дополнительные сведения к 3.4).

Для животных, ведущих групповой образ жизни, характерна определённая *оптимальная плотность*, при которой популяция наиболее рационально использует ресурсы среды и обеспечивает устойчивое воспроизводство численности. В случае снижения или возрастания плотности популяция групповых животных стремится вернуться к оптимуму, задействуя генетически закреплённые адаптивные механизмы.

Сигнальным фактором при снижении численности этих животных является **эффект группы**. Суть его состоит в том, что положительное воздействие оказывает уже сам факт присутствия рядом представителей своего вида. Вынужденное одиночество или недостаточная численность группы влияют отрицательно: животные перестают размножаться, не в состоянии эффективно реагировать пищевое и половое поведение и т. д.

В условиях эксперимента стайки из 10 особей бычка желтокрылки (рис. 3.31) потребляли в сутки до 400—600 мг корма, а одиночные особи не питались вообще. Сходное явление можно наблюдать у всех стайных рыб.



Рис. 3.31

Желтокрылка, или желтокрылая широколобка (*Cottocomephorus grewinkii*)

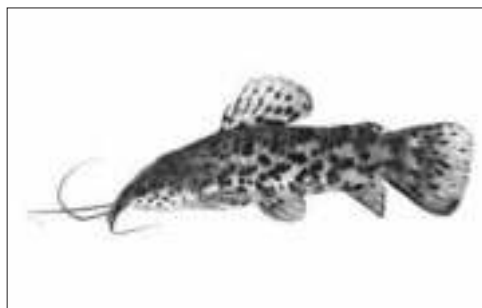
Еще один важный сигнальный фактор — **эффект массы**. Для его проявления не требуется непосредственное восприятие особями друг друга. Эффект массы выражается в неблагоприятном изменении среды обитания при чрезмерном увеличении плотности популяции. Обеднение кормовой базы, ухудшение качества пищи, накопление продуктов жизнедеятельности и подобные явления, как правило, отрицательно сказываются на плодовитости, скорости роста, продолжительности жизни животных.

В лабораторных опытах на дрозофиле (рис. 3.32, *а*) показано, что при высокой плотности популяции (32 пары в ёмкости объёмом 50 мл) количество яиц в яйцекладке и выживаемость мух уменьшаются, потому что в пробирке накапливаются продукты жизнедеятельности, личиночные шкурки и пупарии (оболочки куколок).

У клариевого сома (рис. 3.32, *б*) нехватка пищи приводит к замедлению роста молоди и вызывает родственный каннибализм.



а



б

Рис. 3.32

Животные, реагирующие на эффект массы: *а* — плодовая мушка (*Drosophila melanogaster*); *б* — клариевые сомы (*Clarias batrachus*)

Существуют виды, очень чувствительные к сигнальным факторам, и такие, которые почти не реагируют на «предупреждающие сигналы». Очевидно, что численность и плотность популяций невосприимчивых видов может значительно колебаться.

— **ВОПРОСЫ ДЛЯ КОНТРОЛЯ**

- ▶ ТЕСТОВЫЕ ЗАДАНИЯ

- 162

3. Пример эффекта массы — это:
 - а) отсутствие рядом особей своего вида;
 - б) ухудшение качества пищи;
 - в) сильная влажность;
 - г) совместное проживание двух разных видов.
4. В природном сообществе «хищники»:
 - а) уничтожают популяцию «жертв»;
 - б) способствуют росту численности популяции «жертв»;
 - в) оздоравливают популяцию «жертв», регулируют её численность;
 - г) не влияют на численность популяции «жертв».
5. Реакцию животных на присутствие особей своего вида называют:

а) принципом конкурентного исключения;	в) эффектом группы;
б) эффектом массы;	г) принципом Олли.



ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ СВЕДЕНИЯ:
МЕХАНИЗМЫ СНИЖЕНИЯ ПЛОТНОСТИ ПОПУЛЯЦИИ

Выселение ч сти особей из популяции

Выселение особей из состава размножающихся группировок — широко известное явление. По существу, это первая реакция животных на возрастание плотности популяции. За счёт расширения территории, занятой популяцией, оптимальная плотность поддерживается без снижения численности. Для одних животных выселение — это регулярное явление, для других — нет. Такая реакция популяции обусловлена *генетически закреплённой программой поведения*. Как правило, из родительской группировки уходят молодые особи (у сидячих форм прежние местообитания покидают личинки). Дисперсия молодняка *ненаправленна* и носит случайный характер.

У канадских дикуш (рис. 3.33) осеннее расселение, приуроченное к распаду выводков, происходит без каких-либо агрессивных взаимодействий — птицы одного выводка постепенно утрачивают



Рис. 3.33

Канадская дикуша (*Falcipennis canadensis*)

взаимосвязи. Сходным образом у млекопитающих молодые особи расселяются при возникновении миграционного инстинкта, часто — без видимых признаков агрессии со стороны взрослых особей.

Для многих животных характерно *направленное выселение* особей, следующее за увеличением плотности популяции.



Рис. 3.34

Мигрирующая стая перелётной саранчи (*Locusta migratoria*)

У представителей саранчовых в таких случаях возникает стадная фаза. Насекомые массово покидают районы избыточной плотности (рис. 3.34). Они имеют стадную окраску — чёрные пятна на жёлтом фоне — и характеризуются беспокойным поведением. При низкой плотности особи имеют зелёную окраску и ведут одиночный образ жизни.

У тлей при перенаселении рождаются крылатые партеногенетически размножающиеся самки, перелетающие на другое дерево. У низших

позвоночных стимулом к выселению особей часто служит накопление в среде метаболитов (продуктов метаболизма) и феромонов — биологически активных веществ, выделяемых организмами и влияющих на их поведение, физиологическое и эмоциональное состояние.

У многих млекопитающих при возрастании плотности также может происходить направленное выселение взрослых особей. Если на территории, занимаемой популяцией, возрастает количество запаховых территориальных меток, это может стимулировать миграционную активность животных.

Снижение плодовитости, скорости размножения и роста

При повышении плотности популяции у многих животных наблюдается снижение плодовитости, замедление полового созревания особей, приостановка размножения.

В лабораторных опытах на плодовой мушке-дрозофиле было выявлено снижение плодовитости особей при увеличении плотности популяции. При увеличении количества имаго (взрослых особей), полученных от одной пары, до 128 плодовитость самок уменьшилась почти в 20 раз.

Для многих видов мышевидных грызунов характерно замедление скорости полового созревания в условиях высокой плотности: молодые зверьки приступают к размножению лишь на следующий год после своего рождения. Такие данные были получены в многочисленных полевых и лабораторных экспериментах на полевках, хомячках, домовых мышах.

У представителей семейства божьих коровок — жуков рода *Chilocorus* (рис. 3.35) при увеличении плотности популяции взрослые особи перестают размножаться и впадают в состояние диапаузы.

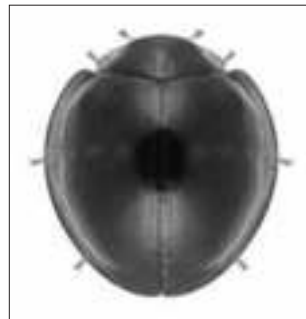


Рис. 3.35

Жук *Chilocorus* sp.

В процессах размножения и развития большую роль играет *химическая регуляция* с помощью выделяемых в среду метаболитов и феромонов. Особенно широко эта форма регулирования представлена у рыб, земноводных, пресмыкающихся, а также у микроорганизмов.

Цианобактерии способны синтезировать и выделять в среду метаболиты, влияющие на рост и скорость деления клеток в культуре.

В экспериментах с головастиками искусственно увеличивали плотность лабораторных популяций. Под действием возрастающей концентрации метаболитов темп роста некоторых особей ускорился, и они обогнали в развитии своих собратьев. Оказалось, что метаболиты быстро растущих головастиков замедляют рост отстающих, а метаболиты последних дополнительно стимулируют развитие «лидирующих» особей.

Высшим животным (млекопитающим и птицам) в большей мере свойственна *поведенческая регуляция* размножения и развития. Таково, например, действие *стресса*. По определению канадского биолога и врача Ганса Селье (1907—1982), **стресс** — адаптивная реакция животного, приводящая к перестройке нервно-гуморальной и иммунной систем организма и возникающая в ответ на действие **стрессирующих факторов**.

Стрессирующими факторами могут быть стычки особей за корм, места укрытия, полового партнера. При повышении плотности в популяции чаще возникают конфликтные ситуации, и вследствие этого возрастает общий уровень стресса. При этом в организме животных (в надпочечниках) увеличивается синтез *адреналина* и других *кортикостероидов* — **гормонов стресса**, которые переводят организм в состояние повышенной активности и напряжённости. Могут происходить и другие физиологические изменения, характерные для состояния стресса.



Рис. 3.36

Ферма, где выращивают аллигаторов

При изучении популяций грызунов учёные отметили, что у пенсильванских полёвок (*Microtus pennsylvanicus*) с увеличением численности возрастала относительная масса надпочечников. У полёвок-экономов (*Microtus oeconomus*) и рыжих полёвок (*Clethrionomys glareolus*) было зарегистрировано повышение среднего уровня стресса в годы высокой численности.

В исследованиях аллигаторов, которых содержат на плотно заселённых фермах (рис. 3.36), было выявлено,

но, что уровень кортикостероидов в крови этих животных выше, чем при низкой плотности.

В результате развития стресс-реакции в популяции может снизиться рождаемость или увеличиться смертность. «Передозировка» стрессовых гормонов иногда приводит к значительным нарушениям в организме. В редких случаях патологический процесс, названный Г. Селье болезнью адаптации, становится причиной гибели животного. Гораздо чаще причиной смерти является повышенная чувствительность стрессированных животных к действию неблагоприятных факторов среды. Особенно подвержены стрессу молодые и половозрелые особи. Стресс также может тормозить способность животных к воспроизводству.

У некоторых мелких грызунов при увеличении плотности популяции происходит прерывание беременности в присутствии чужого самца. В экспериментах с серыми полёвками, леммингами и домовыми мышами было показано, что при содержании беременных самок с незнакомыми им самцами в 55—87% случаев развитие зародышей прекращалось. Механизм этого явления связан с реакцией самок на стресс: у подопытных особей был зарегистрирован повышенный уровень свободных кортикостероидов в крови.

Увеличение смертности

Иногда при перенаселении в популяции возрастает смертность особей, особенно молодых и ослабленных животных.

В экспериментах террариумы заселяли ящерицами. Лабораторные популяции различались по плотности в 15 раз. В уплотнённых группах смертность эмбрионов составила около 86%, а в группах меньшей плотности — только 20%.

Существенную роль в увеличении смертности некоторых популяций играет *химическая регуляция*. Большое количество экспериментов по её изучению было поставлено на рыбах. Оказалось, что при повышении концентрации метаболитов в воде возрастает смертность и особи перестают размножаться.

Усач (рис. 3.37) довольно плодовит, но при содержании его в аквариумах малого объёма смертность мальков заметно выше, чем в природных условиях. По мере развития мальков выживают только наиболее крупные особи, а мелкие прекращают питаться, несмотря на наличие корма, и вскоре погибают.

У многих животных при увеличении частоты прямых контактов особей появляется специфическая форма поведения — *каннибализм*.

Мучные хрущаки (рис. 3.38) при увеличении плотности популяции поедают яйца, личинок и куколок своего вида. Так же поступают личинки златоглазок (род *Chrysops*), гусеницы капустной совки (*Barathra brassicae*).

В опытах с гуппи (*Poecilia reticulata*) было показано, что при нарастании численности каннибализм проявляется даже при избытке корма. Так, если особи первых трёх выводков в массе выживают, четвёртый приплод бывает полностью съеден матерью, которая приступает также и к интенсивному «изреживанию» прежних выводков.

Наблюдения за белыми аистами (рис. 3.39) в Европе показали, что в годы высокой численности многие птицы не могут выбрать место для гнездования и не приступают к размножению. Холостые особи беспокоят своих сородичей, бродя вокруг их гнёзд и подчас вступая в драки. Этим они стимулируют нарушение родительского поведения у гнездящихся птиц вплоть до полного прекращения



Рис. 3.37

Усач (*Barbus* sp.)



Рис. 3.38

Особи большого мучного хрущака (*Tenebrio molitor*) разного возраста



Рис. 3.39

Белый аист (*Ciconia ciconia*)

заботы о потомстве. В результате в такие годы родители чаще выкидывают птенцов из гнезда и общий прирост популяции уменьшается.

Реакция на повышение плотности популяции у растений

Растительные организмы тоже реагируют на увеличение плотности популяции. Например, при скученности изменяется распределение питательных веществ, идущих на образование различных органов.



Рис. 3.40

Марь белая
(*Chenopodium album*)

У марь белой (лебеда) почти все взошедшие семена развиваются во взрослые растения, но в зависимости от плотности популяции размеры последних варьируют от нескольких сантиметров до двух метров (рис. 3.40).

При повышении плотности может происходить замедление общего роста растений, задержка в развитии генеративных органов, снижение продуктивности. Интересно, что однолетние и многолетние растения реагируют на избыточную скученность по-разному: рост и развитие однолетников ускоряется, а многолетников — наоборот, замедляется.



Рис. 3.41

Загущенные посадки ели

■ Задание**

Подумайте, каковы причины этого явления.

Наиболее распространённый механизм регуляции численности растений — **самоизреживание**, которое происходит при критической нагрузке организмов на ресурсы среды. В популяции возрастает смертность, причём обычно первыми гибнут наиболее слабые растения. Выживают те, которые способны более интенсивно использовать почвенные ресурсы и могут быстро отреагировать на изменение условий, ускорив рост.

В популяциях дуба деревья с возрастом самоизреживаются, поэтому независимо от числа посаженных семян количество взрослых растений будет примерно одинаковым. Процесс самоизреживания также можно наблюдать в искусственно загущенных посадках сосны и ели (рис. 3.41).

Экосистемы

4.1. Экосистемы и их структура

Даже между двумя отдельно взятыми популяциями (видов-конкурентов, «хищников» и «жертв» и т. д.) отношения часто довольно сложные. Реальная ситуация ещё более запутана, так как в природе не бывает случаев, когда взаимодействия особей ограничены кругом, состоящим из представителей только двух популяций. И при сколь угодно детальном изучении отдельных групп живых существ невозможно составить представление о сообществе, которое они образуют в целом, так же как невозможно сделать точное заключение о вкусе и аромате пирога, исходя из списка его ингредиентов. Экология экосистем, или синэкология, изучает законы существования и свойства сложных сообществ организмов как единых систем.

Экосистем : биоценоз + биотоп

Биоценозом (сообществом живых организмов; от греч. *bios* — жизнь и *koinós* — общий) называют совокупность особей взаимодействующих популяций разных видов, сосуществующих в пространстве в течение длительного времени. В составе биоценоза выделяют **растительное сообщество** — совокупность растений (иногда его называют фитоценозом — см. ниже), **зооценоз**, объединяющий животных, **микробиоценоз**, который составляют бактерии и другие микроскопические организмы, и т. д.

Границы биоценоза могут быть чётко очерченными. Так, сообщество непроточного пруда или озера обособлено от других водных сообществ. Впрочем, некоторые обитатели водоёма — выдры, лягушки, водяные черепахи — регулярно выбираются за его пределы. Гораздо чаще встречаются биоценозы с размытыми границами, как, например, сообщества степей: бобово-злаковые, злаковые и злаково-разнотравные биоценозы образуют практически непрерывный ряд.

Между биоценозами существует «переходная зона» — **экотон**. Обычно он включает представителей смежных биоценозов, а кроме них — виды, не встречающиеся ни в одном из соседних биоценозов. Такое увеличение разнообразия видов в экотоне часто называют «*эффектом опушки*».

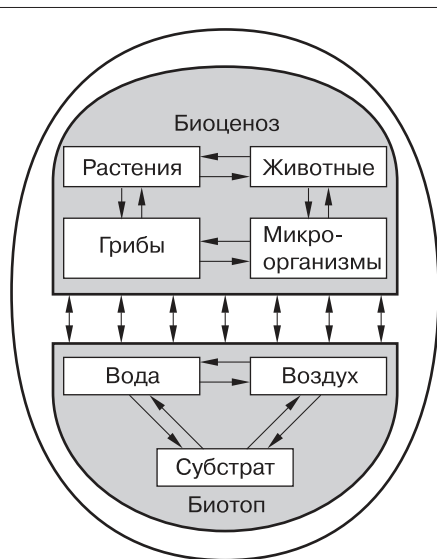


Рис. 4.1

Схема экосистемы (стрелками показаны потоки вещества, энергии и информации)

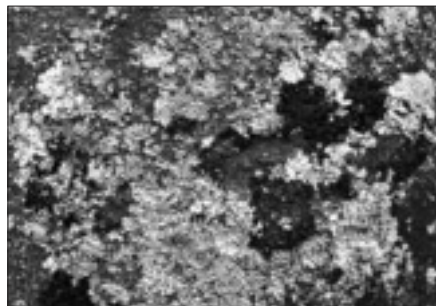


Рис. 4.2

Фрагмент сообщества лишайников

Примерами экотонов являются заросли кустарника, отделяющие лес от поля, болотистые пространства между прудом и береговыми биоценозами и т. д.

Биоценоз неотделим от **биотопа** — пространства, занятого биоценозом и заключающего в себе совокупность абиотических условий (воду, почву, воздух). Биотоп можно рассматривать как *местообитание биоценоза*. Основной его характеристикой является относительная однородность условий.

Биотоп и биоценоз представляют собой два неразрывных компонента **экосистемы**. Экологическая система, или экосистема (рис. 4.1), — совокупность совместно обитающих организмов и условий их существования, в которой происходит обмен веществом, энергией и информацией.

Ведущая роль в существовании и нормальном функционировании экосистем принадлежит живым организмам. Именно их деятельность создала современный облик нашей планеты.

Поселяющиеся на скалах лишайники (рис. 4.2) с помощью особых выделений и механического действия корней способствуют выветриванию (разрушению) горных пород. Постепенно на голых скалах формируется плодородный слой почвы. Процесс выветривания продолжается и в зрелой почве: живые организмы, населяющие почву,



а



б



в

Рис. 4.3

Примеры экосистем разного размера:
а — аквариум; б — берёзовая роща;
в — море

и корни растений постоянно выделяют вещества, интенсивно разрушающие минералы почвы и нижележащих слоёв.

Экосистемы могут существенно различаться по размеру (рис. 4.3). Существуют **микроэкосистемы** (болотная кочка, дерево, покрытый мхом камень или пенёк, горшок с цветком), **мезоэкосистемы** (озеро, болото, песчаная дюна, луг) и **макроэкосистемы** (тайга, пустыня Сахара, дождевые леса Амазонки). Мелкие экосистемы входят в состав более крупных, а экосистемой самого высокого ранга является *биосфера*.

Часто по отношению к наземным экосистемам употребляют термин «**биогеоценоз**». Биогеоценозом называют сформировавшийся в ходе эволюции комплекс, включающий в себя участок земной поверхности и сообщество заселяющих его живых существ — растений, животных и других организмов. Границы биогеоценоза обычно определены пределами распространения растительного сообщества (его в этом случае называют **фитоценозом**). Основными свойствами биогеоценоза являются: 1) относительно независимый от других

подобных комплексов круговорот веществ и поток энергии; 2) способность фитоценоза к самовосстановлению и саморегуляции, обеспечивающая относительную устойчивость всего биогеоценоза.

Круговорот веществ в микро- и макроэкосистемах почти всегда является открытым: такие экосистемы в силу своих размеров не существуют более или менее автономно от других сообществ. По этой причине к микро- и макроэкосистемам неприменим термин «биогеоценоз», а растительные сообщества в этих случаях нельзя называть фитоценозами. Так, фитоценозом не является сообщество растительных организмов, заселяющих гниющий пень.

Экосистемы могут быть *естественными* и *искусственными*. Естественные экосистемы сформировались и существуют самостоятельно; возникновение и стабильность искусственных экосистем всецело зависит от усилий человека (рис. 4.4).



Рис. 4.4

Искусственная экосистема (сад)

Один из вариантов искусственных экосистем — *агроэкосистемы* — пашни, сенокосы, огороды. При отсутствии постоянной заботы они в течение нескольких вегетационных сезонов дичают (например, зарастают сорными растениями) и теряют свой первоначальный облик.

Задание**

Искусственные наземные экосистемы нельзя называть биогеоценозами. Объясните почему.

Трофические связи в экосистеме

Важнейшее свойство экосистемы заключается в том, что все её компоненты обмениваются веществом и энергией друг с другом. Благодаря этому экосистемы нашей планеты поддерживают круговорот веществ и энергии в биосфере. Эта их основная функция обеспечена *трофическими* (пищевыми) взаимоотношениями видов.

➡ Кроме обмен веществом и энергией в экосистемах постоянно происходит обмен *информацией*. Информация — это сведения, полученные при помощи органов чувств, которые несливаются, хранятся и переходят от одних компонентов экосистемы к другим компонентам.

В животном мире существуют универсальные сигналы, понятные многим видам, например сигнал тревоги (громкий крик) или освещённость (свет регулирует биологические ритмы животных и растений).

Информационную функцию в экосистеме выполняет и почва. Иногда её называют «памятью» экосистемы, так как в её неорганических компонентах хранится информация о процессах, протекавших много лет назад.

По роли в экосистеме организмы можно объединить в три группы: **продуценты** (производители), **консументы** (потребители) и **редуценты** (разрушители). Продуценты являются автотрофами (чаще — фототрофами, т. е. организмами, поглощающими и преобразующими энергию Солнца). Консументы и редуценты — это гетеротрофы.

➔ Другая группа автотрофов — **хемотрофы**. Источником энергии для них являются процессы окисления неорганических веществ. Такой тип метаболизма присущ только некоторым бактериям. Например, в почве обитают бактерии-нитрификаторы (роды *Nitrosomonas* и *Nitrobacter*), которые для синтеза органических веществ из углекислого газа и воды используют энергию окисления минеральных соединений азота — аммиака и нитритов.

Некоторые бактерии-хемотрофы находят применение в хозяйственной деятельности человека. Их используют для обогащения руд, так как при питании они разрушают сульфиды металлов и переводят металлы в более доступную для извлечения форму.

Существуют организмы, например эвглена зелёная (рис. 4.5), занимающие промежуточное положение между гетеротрофами и автотрофами. Их выделяют в отдельную группу **миксотрофов**. Если им доступны готовые органические вещества, они ведут себя как редуценты, а в условиях хорошей освещённости могут и сами синтезировать органические вещества, т. е. становятся продуцентами.

■ Задание*

В курсе биологии вы познакомились с понятием «пищевые цепи». Приведите пример пищевой цепи, начинающейся злаками и мышами-полёвками.



Рис. 4.5

Эвглена зелёная
(*Euglena viridis*)

Продуценты, редуценты и консументы образуют **трофические цепи**, или **цепи питания**. Последние условно объединяют в два типа: пастбищные и детритные. Живое органическое вещество преобразуется в **пастбищных пищевых цепях**, а мёртвое — в **детритных**. И те и другие, как правило, состоят из нескольких звеньев (рис. 4.6).

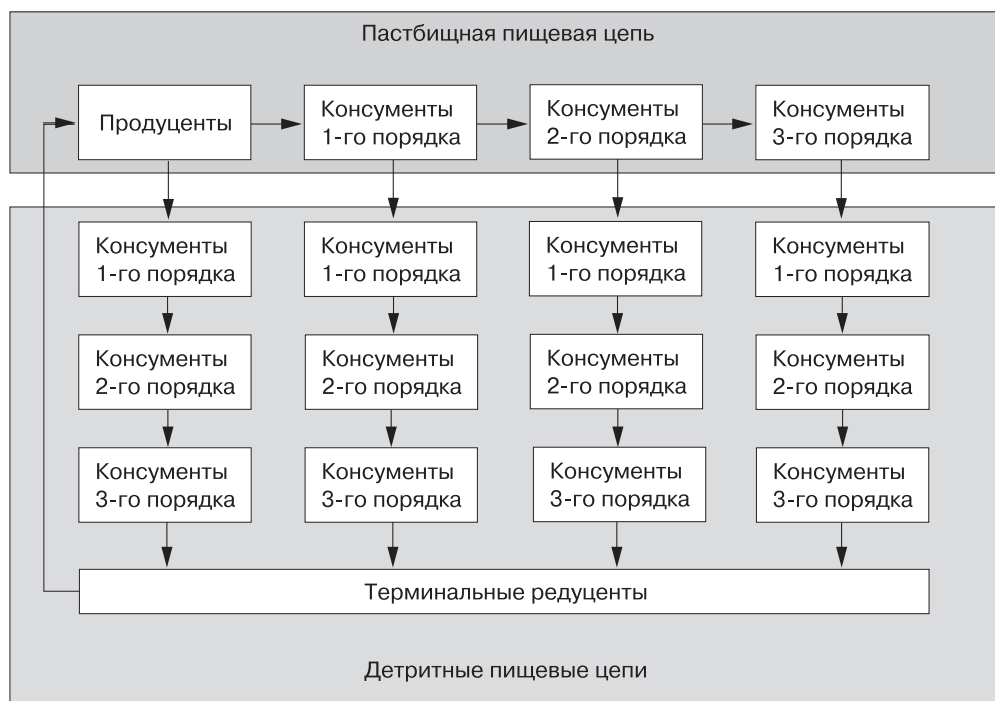


Рис. 4.6

Схема цепей питания

Пастбищные цепи иногда называют «цепями выедания». В большинстве случаев первым звеном такой цепи (продуцентами) являются живые зелёные растения (фототрофы). Второе звено (консументы 1-го порядка) представлено травоядными животными или паразитами растений. Третье звено (консументы 2-го порядка) — хищники или паразиты консументов 1-го порядка. Четвёртое звено — хищники или паразиты консументов 2-го порядка и т. д. Пастбищную цепь с преобладающим участием хищников можно представить так:

сосна → тля → божья коровка → паук → насекомоядная птица → хищная птица.

Другой пример пастбищной цепи, в которой основное место отведено паразитам, имеет вид:

травянистое растение → гусеница → муха тахина → наездник.

В детритных цепях, или «цепях разложения», первым звеном является отмершее органическое вещество (детрит; от лат. *detritus* — истёртый). Консументами 1-го порядка в детритных цепях являются так называемые **детритофаги** («пожиратели детрита») — организмы, питающиеся трупами, экскрементами, опавшей листвой. Эти организмы не полностью разрушают органические вещества, скорее они измельчают и перетирают ткани и готовят субстрат для следующих групп. В некоторых детритных цепях второе (иногда третье и т. д.) звено детритной пищевой цепи представлено настоящими редуцентами-детритофагами — **сапротрофами** (от греч. *saprós* — гнилой). Это организмы (грибы и бактерии), разрушающие органические вещества до неорганических:

опад клёна → дождевой червь → почвенные грибы → бактерии.

Детритные цепи также могут продолжаться хищниками и паразитами детритофагов, в том числе сапротрофов.

■ ■ ■ Задание*

Назовите трофическую роль каждого звена трёх вышеуказанных цепей питания.

→ Детритные цепи не являются прямым продолжением пастбищных цепей. Непрерывность детритной цепи питания может обеспечить отмершее растение, экскременты растительноядных или трупы хищников и паразитов.

В наземных экосистемах преобладают именно детритные пищевые цепи: в них перерабатывается почти 90% всего органического вещества, ежегодно производимого экосистемой.

В водных экосистемах же доминируют пастбищные цепи. Фотосинтезирующие планктонные организмы (основные продуценты) очень быстро и почти без «отходов» потребляются зоопланктоном, но также стремительно восстанавливают свою численность. Зоопланктон, в свою очередь, служит пищей для китов, рыб и т. д. В водных местообитаниях детритные цепи преобладают в при-

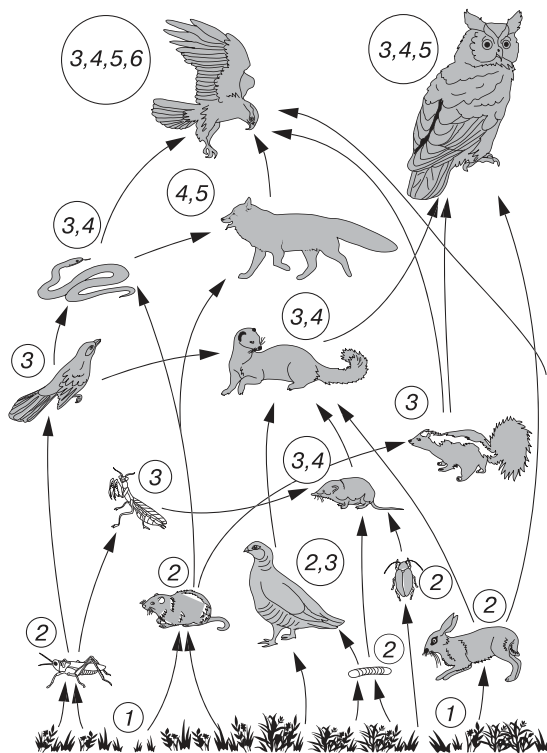


Рис. 4.7

Трофическая сеть луга (по Р. Риклефсу, 1979; цифрами обозначены трофические уровни)

сументов 1-го порядка, уровень консументов 2-го порядка, уровень консументов 3-го порядка и т. д.

В трофические уровни объединены организмы, сходные только по их трофической роли в экосистемах. По остальным показателям живые существа могут существенно различаться. Например, в экосистеме леса уровень консументов второго порядка (хищников или паразитов растительноядных) могут занимать и лисы, и клещи, и куницы, и божьи коровки.

■ ■ ■ Задание***

Попытайтесь определить, к какому трофическому уровню принадлежат индийский йог, употребляющий строго растительную пищу, и китайский император, который обожает язычки соловьёв, питающихся хищными насекомыми.

донных и глубинных слоях воды. Орг низмы, живущие там, питаются «крохами со стола» обитателей сверху.

В природе «идеальную» цепь питания можно наблюдать только в случае, если все организмы-консументы, входящие в неё, употребляют один вид пищи. В действительности монофагия достаточно редка. В основном животные используют несколько пищевых источников. В то же время большинство организмов служит пищей не одному виду, а нескольким. Поэтому в природе трофические цепи связаны между собой в **трофические сети** (рис. 4.7).

Организмы, входящие в состав разных трофических цепей, но отстоящие на равном удалении от их начала, объединяют в один **трофический уровень**. Так, выделяют уровень продуцентов, уровень консументов

Деление экосистемы на трофические уровни представляет собой лишь общую схему. В действительности многие организмы могут одновременно принадлежать к нескольким трофическим уровням (например, животные-полифаги).

Органические вещества и энергия переходят с одного трофического уровня на следующий лишь частично, так как на каждом уровне организмы расходуют эти ресурсы на процессы жизнедеятельности. Известно, что в пастбищных пищевых цепях в среднем только 10% энергии предыдущего трофического уровня может быть усвоено организмами следующего уровня. В силу этого **правила 10%** по мере восхождения по трофическим уровням энергия, содержащаяся в органических веществах, а часто — суммарная масса и численность организмов уменьшаются в геометрической прогрессии. Это накладывает известное ограничение на длину пищевых цепей. Они могут состоять не более чем из 6—7 звеньев, так как для устойчивого существования более высоких трофических уровней не хватило бы энергии (см. также дополнительные сведения к 4.1).

Пространственные связи организмов в экосистеме

В пределах экосистемы экологические условия относительно неоднородны. Известно, что микроклимат под пологом леса существенно отличается от микроклимата полей, а освещённость и температура в водоёмах варьируют в зависимости от глубины. Поэтому в экосистеме различные местообитания заселены организмами, приспособленными к экологическим факторам разной интенсивности.

При совместном проживании на определённой территории между организмами возникают **топические связи** (от греч. *topos* — место). Это *непищевые* взаимодействия живых существ, происходящие при использовании общих пространственных ресурсов. Топические связи могут быть *отрицательными* (конкуренция за места гнездовья и т. д.) и *положительными* (заселение одного убежища несколькими особями разных видов и т. п.).

Вид, способный использовать несколько различающихся по типу убежищ и укрытий, называют **эвритопным**. **Стенотопные виды** высоко специализированы по отношению к пространственным ресурсам.

Полевой воробей (*Passer montanus*) является эвритопным видом — он поселяется в готовых дуплах и строит собственные гнёзда в различных удобных местах. Пищуха обыкновенная (см. рис. 2.20 на с. 94) — стено-топный вид. Она гнездится в узких клинообразных щелях в стволах деревьев и поэтому почти не имеет конкурентов.

Организмы, распределяясь в среде, задают **пространственную структуру** экосистемы. В наземных местообитаниях она в основном зависит от особенностей растительного сообщества. Чётко выраженная пространственная структура описана для биогеоценозов (мезоэкосистем).

Горизонтальная структура биогеоценоза зависит от видового состава и расположения растений в биотопе. Часто для изучения наземных экосистем в них выделяют **консорции** — группировки видов-продуцентов и видов-гетеротрофов вокруг центрального главенствующего вида растения (от лат. *consortium* — соучастие, сообщество). Между всеми членами консорции существуют тесные топические и трофические связи.

Консорцией можно назвать сосну и связанные с ней виды высших растений, микроорганизмов, грибов, лишайников, насекомых, птиц и т. д.

Внутри биогеоценозов нередко можно выделить и так называемые **синусии** — группировки растений, состоящие из экологически близких видов одной жизненной формы (деревьев, кустарников, трав), занимающих более или менее ограниченную территорию (от греч. *synusia* — сообщество, совместное пребывание).

В еловых лесах травянистые растения не способны выживать в глубокой тени деревьев. Однако на более освещённых участках формируются синусии трав, состоящие из злаков, бобовых, сложноцветных и т. д., которые мозаично расположены в пределах леса.

Вертикальную структуру биогеоценоза определяют растения различных жизненных форм, способные размещаться на разных уровнях над поверхностью земли. Они создают направленное изменение освещённости и микроклимата. Иногда вертикальное распределение растительных организмов настолько отчётливое, что можно различить отдельные **ярусы**, образованные растениями близких жизненных форм. **Ярусность** наиболее чётко проявляется в лесах умеренного пояса. В смешанных лесах выделяют первый и второй ярусы деревьев. Третий ярус образуют кустарники подлеска, четвёртый — травянистые растения, пятый — мхи и лишайники, шестой — грибы и напочвенные микроорганизмы.

В таёжных и широколиственных лесах ярусы труднее различимы. Самая сложная вертикальная структура характерна для лесов тропического пояса (рис. 4.8, а). Здесь переходы между ярусами (их может быть более 10) почти незаметны. В травянистых сообществах лугов и степей растения образуют 2—3 яруса.



а



б

Рис. 4.8

Население джунглей: а — растительные организмы; б — обитатель верхних ярусов — трёхпалый ленивец (*Bradypus tridactylus*)

➔ Существуют *внеярусные* растения — лишайники и мхи, поселяющиеся на коре, пнях и погибших деревьях.

Всходы и подрост растений могут не ходить в более низком ярусе, чем взрослые особи.

Животные также часто обнаруживают определённую принадлежность к тому или иному ярусу леса, образуя топические связи, в некоторых случаях достаточно тесные.

В тропических лесах часто встречаются виды, которые всю жизнь проводят в пределах одного или нескольких ярусов, почти не перемещаются на другие высоты и не спускаются на землю. Таковы некоторые обезьяны, ленивцы (рис. 4.8, б) и другие животные.

■ Задание*

Определите, каким (эвритопным или стеноитопным) видом является ленивец.

В водных экосистемах горизонтальная структура тесно связана с вертикальной. Эти структуры определяются направленным изменением освещённости, температуры, давления и концентрации биогенных элементов в среде. В зависимости от интенсивности перечисленных факторов в водоёмах возни-

кают группы планктонных и нектонных организмов, живущих на различной глубине, а также группа бентосных форм.

■ ■ ■ Задание**

Вспомните характеристики экологических групп водных организмов и приведите примеры топических связей внутри каждой группы.

Экосистемы являются целостными надорганизменными образованиями. Они представляют собой особый уровень организации живых систем. Основное свойство экосистем — способность их компонентов обмениваться веществом, энергией и информацией друг с другом и элементами других сообществ. Между организмами существуют трофические и топические связи. Они определяют структуру экосистемы и придают ей новые свойства, присущие сложной системе, но нехарактерные для составляющих её частей.



ВОПРОСЫ ДЛЯ КОНТРОЛЯ

1. Приведите 2—3 примера организмов, относящихся к 3-му трофическому уровню экосистемы степи.
- 2.** Дайте краткую характеристику автотрофов, гетеротрофов и миксотрофов.
- 3.*** Известно, что в тропическом лесу разложение отмерших частей растений происходит очень быстро. Часто живые организмы «перехватывают» биогенные вещества ещё до того, как те попадут на поверхность или внутрь почвы. В этих экосистемах преобладают детритные пищевые цепи. Предположите, какие группы организмов могут в них участвовать.



ТЕСТОВЫЕ ЗАДАНИЯ

1. Установите соответствие терминов и определений:

а) консументы;	1) автотрофы, обеспечивающие пищевой все остальные трофические уровни экосистемы;
б) редуценты;	2) гетеротрофы, разлагающие мёртвые органические вещества до неорганических составляющих;

- в) продуценты.
- 3) гетеротрофы, питающиеся живыми организмами.
- 2. В детритных пищевых цепях детритофаги являются:
 - а) продуцентами;
 - б) консументами 1-го порядка;
 - в) консументами 2-го порядка;
 - г) сапрофитами.
- 3. Доля энергии, которая может перейти с предыдущего на следующий трофический уровень, составляет не более:
 - а) 50%;
 - б) 1%;
 - в) 10%;
 - г) 5%.
- 4. Связи в сообществах, возникающие при конкуренции за территорию или при совместном использовании территории, называют:
 - а) трофическими;
 - б) конкурентными;
 - в) топическими;
 - г) мутуалистическими.
- 5. Экоотоп — это:
 - а) территория в центре биоценоза;
 - б) зона растений в биоценозе;
 - в) переходная зона между биоценозами;
 - г) ареал обитания животных в биоценозе.



ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ СВЕДЕНИЯ:
ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ЭКОСИСТЕМ

Из истории понятия «биоценоз»

В начале развития синэкологии как части классической экологии было распространено представление о *биоценозах* как о неких целостных «сверх-организмах», в которых виды тесно связаны между собой не только в современности, но и в общем для них эволюционном прошлом. Чуть позже появилась идея о том, что биоценозы — это совокупности видов, у которых существуют сходные потребности по отношению к экологическим условиям и ресурсам. Согласно этой концепции объединение видов в биоценозы может быть во многом случайным, а чёткие границы между ними провести нельзя.

По определению синэкология — отрасль науки экологии, которая исследует биотические сообщества и их взаимоотношения со средой: формирование, энергетику, структуру, развитие и другие особенности сообществ. Синэкология

с современных позиций изучает определённую *надорганизменную общность*, особый *уровень организации жизни*, пусть даже и не всегда имеющий определённые границы.

Искусственные экосистемы

Не следует думать, что разнообразие искусственных экосистем ограничено такими экологическими сообществами, которые позволяют людям обеспечить себя продуктами питания и чистым воздухом или получить эстетическое удовольствие. Исследователи не раз пытались осуществить проекты *самоподдерживающихся* систем в научных целях.

Наиболее масштабное мероприятие состоялось в 1991 г. в США. В течение 10 лет были построены герметичные купола, накрывшие площадь 1,27 га и содержавшие объём атмосферы в 203 760 м³. «Биосфера 2» включала в себя свыше 3000 разновидностей растений и животных, семь типов растительности и также маленький океан с коралловым рифом (рис. 4.9). Были организованы условия для ведения сельского хозяйства и построены помещения для людей.

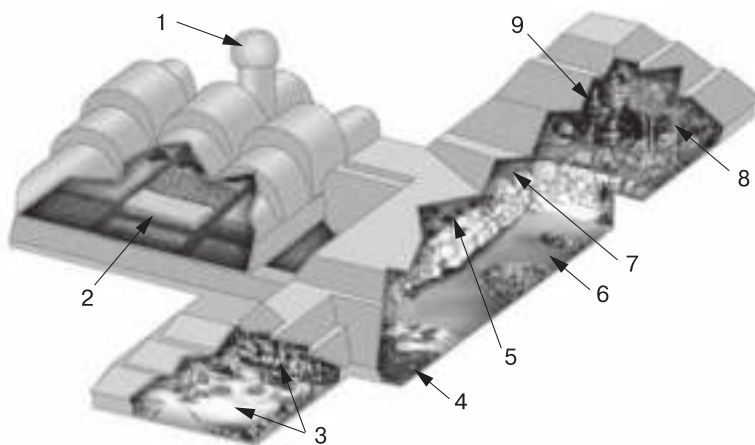


Рис. 4.9

Проект «Биосфера 2»: 1 — поселение людей; 2 — место для ведения интенсивного сельского хозяйства; 3 — пустыня; 4 — болото; 5 — кустарниковые заросли; 6 — океан; 7 — саванна; 8 — тропический лес; 9 — горы

Сложные аппараты обеспечивали течение вод в океане, поддержание атмосферного давления и т. д. Обитатели «Биосферы 2» (четверо мужчин и четверо женщин) использовали интенсивные способы разведения растений и выращивали неприхотливых животных — некрупные породы кур и свиней.

За два года эксперимента содержание кислорода в воздухе снизилось с 21 до 14%, а пищи стало не хватать, так как условием эксперимента было сохранение дикой природы и люди не имели права использовать под сельское хозяйство большие площади, чем было запланировано. «Биосфера 2» оказалась перенаселённой.

Экологические пирамиды

Закономерность, в соответствии с которой только 10% суммарной энергии, содержащейся на предыдущем трофическом уровне, переходит на следующий уровень, была сформулирована и графически представлена в 1927 г. английским биологом и экологом Чарльзом Сазерлендом Элтоном (1900—1991) в виде **правила экологических пирамид**.

Экологические пирамиды массы показывают соотношение массы организмов на различных трофических уровнях. В случае наземных экосистем они практически всегда имеют широкое основание и узкую вершину (рис. 4.10, а).

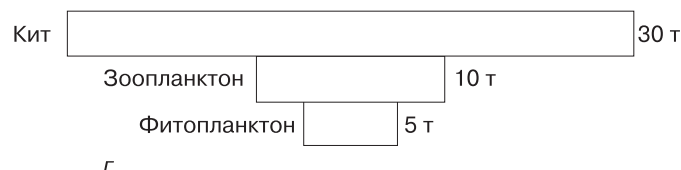
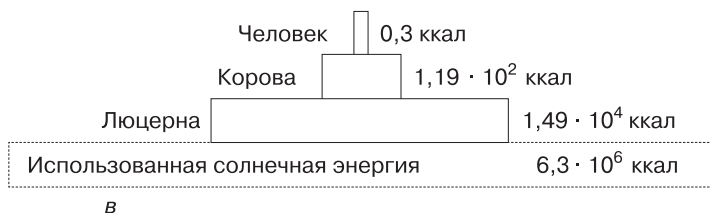
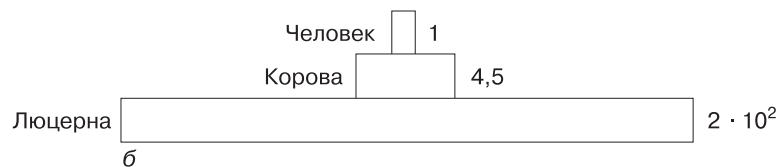
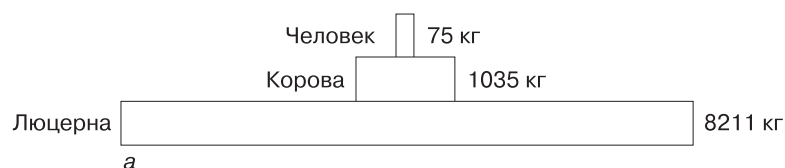


Рис. 4.10

Экологические пирамиды (по Ю. Одуму, 1950):
 а — пирамида массы в наземной среде;
 б — пирамида численности;
 в — пирамида энергии;
 г — пирамида массы в водной среде (обращённая пирамида массы)

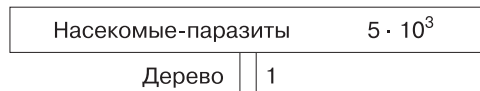


Рис. 4.11

Обращённая пирамида численности

Для водной среды характерны перевёрнутые пирамиды массы (рис. 4.10, *г*). Это связано с высокой скоростью обновления фитопланктона (в течение дней и часов). Интенсивное поглощение планктонных фотосинтезирующих организмов планктонными «хищниками» (зоопланктоном) приводит к тому, что в каждый момент времени масса фитопланктона невелика, но его суммарная масса (например, масса всех поколений, родившихся и съеденных в течение сезона) значительно превышает суммарную массу зоопланктона. Аналогичная ситуация существует на следующем трофическом уровне: рыбы и другие организмы выедают зоо- и фитопланктон, накапливая биомассу в течение нескольких лет.

Экологические пирамиды численности характеризуют количество особей, составляющих каждый трофический уровень. Они также могут иметь узкое основание и широкую вершину (сравните рисунки 4.10, *б* и 4.11). Такая форма пирамид численности характерна для случаев, когда один крупный продуцент (например, высокое дерево) обеспечивает пищей множество мелких консументов или когда в экосистеме присутствует большое количество паразитов. Тогда одно крупное животное может быть хозяином сотен мелких паразитов.

Экологические пирамиды энергии отражают соотношение количества энергии на трофических уровнях. В соответствии с правилом 10% пирамиды энергии всегда имеют широкое основание и узкую вершину (рис. 4.10, *в*).

4.2. Продуктивность и энергетика экосистем

Все организмы нуждаются в различных веществах для построения своего тела и в энергии для поддержания жизнедеятельности. Это также справедливо для экосистем — надорганизменных образований. Говорят, что леса — это «лёгкие» планеты. Однако известно, что кислород по сути является побочным продуктом фотосинтеза. Основным продукт — органическое вещество. Первичным источником энергии для большинства экосистем является солнечный свет, а источниками органических веществ — фотосинтезирующие организмы — продуценты. Движение потоков вещества и энергии через экосистемы определяется несколькими общими правилами.

Пок з тели продуктивности экосистемы

Одной из наиболее важных характеристик экосистем является их **биомасса** — масса живых организмов, отнесённая к единице площади или объёма. Например, при оценивании величины урожая сельскохозяйственных растений их биомассу измеряют в тоннах на гектар.

В суммарной биомассе планеты наибольшую часть составляют наземные зеленые растения (табл. 4.1). Биомасса океана почти в тысячу раз меньше биомассы суши, причем масса водных животных и микроорганизмов резко преобладает над массой водорослей.

Таблица 4.1

Биомасса Земли (по Л. Е. Родину, Н. И. Базилевич, 1965)

	Группа организмов	Масса, 10^{12} т	Доля в общей массе, %
Континенты	Зелёные растения	2,4	99,2
	Животные и микроорганизмы	0,02	0,8
	Всего	2,42	100,0
Океаны	Фотосинтезирующие организмы	0,0002	6,3
	Животные и микроорганизмы	0,003	93,7
	Всего	0,0032	100,0
Земля		2,4232	

■ ■ ■ **Задание***

Поясните причины преобладания в океане биомассы консументов над биомассой продуцентов.

→ **Результаты сравнения биомассы наземных и водных сообществ могут быть неточны из-за высокой сложности определения биомассы подземных частей растений. Говорят, что попытка добраться до корней деревьев (с целью определения их биомассы) в одном из лесов Калифорнии (США) в помощь динмит привел к тому, что большая часть корней оказалась на территории соседнего штата Невада. Эта история, скорее всего, вымысел, но хорошо иллюстрирует проблемы, стоящие перед исследователями, определяющими продуктивность экосистем.**

Скорость образования биомассы продуцентов называют **первичной продукцией экосистемы** и выражают в единицах массы на единицу площади за определённое время (обычно — за год). Общую первичную продукцию определённой территории (биомассу, произведённую за год растениями в результате фотосинтеза) называют **валовой первичной продукцией** (ВПП).

Значительную часть энергии (около 20%), накопленной в биомассе продуцентов, растения расходуют на свои нужды (на дыхание и транспирацию). Оставшуюся часть называют *чистой первичной продукцией* (ЧПП). Она характеризует скорость производства органических веществ, доступных для гетеротрофов.

Ежегодно отторгаемая растениями биомасса (лиственный и корневой опад, корневые выделения и т. д.) не теряется, а попадает в детритные пищевые цепи: в дальнейшем её используют организмы-редуценты. Эти «расходы» растений включены в чистую первичную продукцию.

При сравнительной оценке чистой первичной продукции наземных экосистем и экосистем океана картина несколько иная, чем при сравнении их биомассы (табл. 4.2).

Таблица 4.2

**Годовая чистая первичная продукция (ЧПП) экосистем Земли
(по Whittaker, 1975)**

Тип экосистемы	ЧПП, 10^{12} т
Дождевые тропические леса	37,4
Сезонные тропические леса	12,0
Листопадные леса	8,4
Тайга	9,6
Саванны	13,5
Степи	5,4
Тундра	1,1
Пустыни	0,07
Болота	4,0
Другие наземные	23,5
Суммарно для суши	115
Открытый океан	41,5
Континентальные шельфы	9,6
Коралловые рифы	1,6
Заливы	2,1
Другие водные	0,2
Суммарно для океана	55,0
Суммарно для земного шара	170

Чистая первичная продукция океана не так мала, как можно было бы предположить, исходя из данных по биомассе продуцентов в этой экосистеме. Она составляет около трети от чистой первичной продукции континентов.

- Можно сказать, что в экосистемах океана гораздо больше «прибыльнокпитл» (скорость возобновления биомассы короткоживущих организмов). В наземных сообществах больше суммарная «прибыльнокпитл» (биомасса, накопленная растениями в течение долгого срока жизни). Впрочем и то, что чистая биомасса наземных растений является своеобразным «мёртвым капиталом»: он никак не участвует в фотосинтезе (например, мёртвые клетки древесины и коры деревьев).

Вторичной продукцией называют скорость наращивания биомассы гетеротрофов (консументов), образующих следующие за первым трофические уровни пастбищных цепей питания. В составе вторичной продукции выделяют **валовую** (ВВП) и **чистую** (ЧВП) **вторичную продукцию**. Очень часто для удобства расчётов вторичную продукцию выражают в величинах энергии, запасённой в соответствующем количестве органических веществ, например в килоджоулях на 1 м^2 или на 1 м^3 .

■ ■ ■ Задание*

Дайте определения валовой и чистой вторичной продукции (по аналогии с валовой и чистой первичной продукцией).

- Иногда наряду с терминами «чистая первичная продукция» и «чистая вторичная продукция» используют понятия «продуктивность автотрофов» и «продуктивность гетеротрофов».

Поток энергии в экосистеме

Источником энергии для большинства экосистем является Солнце. Энергия, достигающая поверхности Земли, поглощается далеко не полностью: около 50% её отражают листья и поверхность почвы. Если предположить, что на 1 м^2 заселённой растениями земной поверхности приходится $1 \cdot 10^6$ кДж солнечной энергии в год, то из них будет поглощено $0,5 \cdot 10^6$ кДж. И только одна сотая часть энергии, поступившей в экосистему, будет использована для фотосинтеза, в данном примере — $0,01 \cdot 10^6$ кДж, или 10 000 кДж (рис. 4.12).

Около 20% усвоенной энергии (в модельном сообществе — 2000 кДж) растения расходуют на дыхание, транспирацию, движения и другие процессы жизнедеятельности, поэтому чистая первичная продукция включает примерно 80%

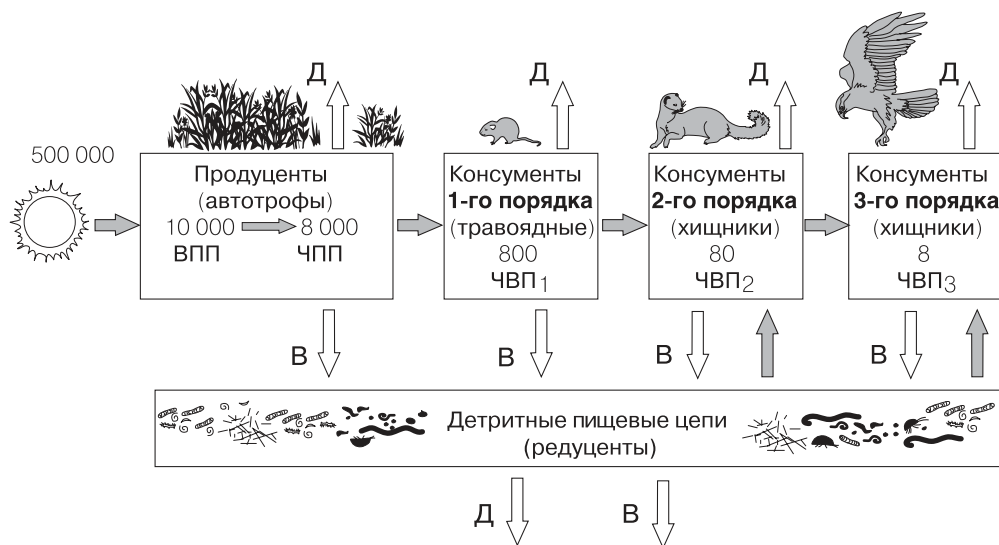


Рис. 4.12

Поток энергии в модельном экологическом сообществе через пастбищную пищевую цепь (по Н. Грину, У. Стауту, Д. Тейлору, 1993): Д — энергия, теряемая при дыхании и транспирации, расходуемая на выработку тепла и другие жизненные процессы; В — энергия, заключённая в веществе выделений, экскрементов и отмерших организмов (цифры на рисунке показывают количества потребляемой и отдаваемой энергии в килоджоулях)

изначальной энергии (8000 кДж/год в модельном сообществе). Основная часть биомассы продуцентов (по разным оценкам, она соответствует 60—80% от ЧПП) попадает в детритные пищевые цепи вместе с корневыми выделениями и опадом растений. Оставшаяся доля биомассы продуцентов (до 20—40% соответственно) может быть съедена организмами следующего трофического уровня (консументами 1-го порядка).

Растительная пища переваривается не полностью, так что количество энергии, реально усвоенной растительноядными консументами, обычно не превышает 10% от суммарной энергии, полученной на предыдущем трофическом уровне. (В модельном сообществе чистая вторичная продукция консументов 1-го порядка составляет 800 кДж/год.)

Задание*

Вспомните, какое правило было сформулировано на основе описанного процесса.

Растительноядные организмы тратят очень много времени на добычу корма. Например, слоны (рис. 4.13) посвящают этому занятию практически всё время, свободное от сна (до 14—18 ч). Такое явление можно расценивать как доказательство того, что растительная пища плохо усваивается.



Рис. 4.13

Кормящиеся слоны (*Loxodonta africana*)

- Растительноядные организмы тратят очень много времени на добычу корма. Например, слоны (рис. 4.13) посвящают этому занятию практически всё время, свободное от сна (до 14—18 ч). Такое явление можно расценивать как доказательство того, что растительная пища плохо усваивается.

На уровне консументов 1-го порядка происходят потери энергии на дыхание и выработку тепла, а также на отторжение веществ в детритные пищевые цепи. В результате консументы 2-го порядка могут потребить около 20—25% суммарной биомассы растительноядных и не более 10% энергии, имеющейся на предыдущем трофическом уровне.

- Известно, что в целом животная пища более калорийна, чем растительная, и усваивается гораздо лучше. В то же время общее количество энергии, доступной растительноядным и хищникам, примерно одинаково (не более 10% энергии предыдущего уровня). Данное факт можно объяснить тем, что животная пища имеет большее качество. Например, хищник может питаться как позвоночными, так и насекомыми. Эффективность усвоения органических веществ при питании позвоночными действительно высока: хищникам доступно около 95% биомассы жертв. В то же время органические вещества насекомых, предельно в основном хитином, могут быть усвоены не более чем на 5—10%.

На уровне консументов 3-го и следующих порядков снова ассимилируется не более 10% энергии предыдущего трофического уровня.

Все органические остатки (опад и корневые выделения растений, экскременты и трупы животных) разлагаются до минеральных веществ в детритных

цепях. При этом наращивается биомасса редуцентов и уменьшается масса остатков вплоть до полного разложения органических веществ. Биомасса редуцентов после их отмирания также разрушается. Неорганические вещества, полученные в результате деятельности редуцентов, используются продуцентами.

Таким образом, наиболее общие закономерности потока вещества и энергии в экосистемах следующие:

↳ суммарно экосистемы способны ассимилировать не более 1% солнечной радиации, попадающей на пространство, занятое экосистемой;

↳ на каждый следующий трофический уровень пастбищной цепи может перейти не более 10% энергии, произведённой на предыдущем уровне, что ограничивает длину пищевой цепи;

↳ основная масса вещества и энергии в наземных экосистемах сосредоточена в детритных пищевых цепях;

↳ энергия не может двигаться по замкнутому циклу: в ходе деятельности экосистемы она рассеивается;

↳ химические элементы могут сохраняться в экосистемах, хотя полностью замкнутые циклы веществ невозможны;

↳ в сбалансированных экосистемах количество энергии, запасённой в биомассе за год, приблизительно равно количеству рассеянной энергии (т. е. биомасса сообщества остаётся стабильной).

Фотосинтезирующие организмы, входящие в состав экосистем, обеспечивают энергией множество консументов и редуцентов. Законы передачи этой энергии по пищевым цепям таковы, что только небольшая её часть переходит на следующий трофический уровень. Тем не менее этой энергии достаточно для существования сложных сообществ, включающих большое число организмов различных трофических уровней.



ВОПРОСЫ ДЛЯ КОНТРОЛЯ

1. Опишите основные закономерности потока энергии в экосистемах.
2. Почему энергию, содержащуюся в корневых выделениях и опаде растений, учитывают при расчётах чистой первичной продукции, в отличие от энергии, затраченной на дыхание растений?
- 3.*** Представьте себе планету, во всём похожую на Землю, на которой в результате неправильных действий инопланетян погибли все редуценты. Каковы последствия этой гибели для планеты?



ТЕСТОВЫЕ ЗАДАНИЯ

1. Наибольшую биомассу на Земле имеют:
 - а) продуценты океана;
 - б) редуценты и консументы океана;
 - в) продуценты суши;
 - г) редуценты и консументы суши.
2. Величину, характеризующую скорость прироста биомассы продуцентов без учёта расходов на дыхание и транспирацию, называют:
 - а) валовой первичной продукцией;
 - б) чистой первичной продукцией;
 - в) валовой вторичной продукцией;
 - г) чистой вторичной продукцией.
3. Величину, характеризующую скорость прироста биомассы консументов и учитывающую расходы на дыхание, называют:
 - а) валовой первичной продукцией;
 - б) чистой первичной продукцией;
 - в) валовой вторичной продукцией;
 - г) чистой вторичной продукцией.
4. От общего количества солнечной энергии, попавшей в экосистему, в энергию органических связей в ходе фотосинтеза может быть переведено только:

а) 10%; б) 5%; в) 20%; г) 0,1%; д) 1%.



ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ СВЕДЕНИЯ: КОНЦЕНТРИРОВАНИЕ ВРЕДНЫХ ВЕЩЕСТВ В ПИЩЕВЫХ ЦЕПЯХ

Как результат деятельности человека в природных экосистемах могут присутствовать нехарактерные для них вещества, опасные для живых организмов, — так называемые **ксенобиотики**. К ксенобиотикам относят соединения ртути и других тяжёлых металлов, радионуклиды, синтетические пестициды и т. д.

Опасность этих веществ состоит в том, что они, во-первых, обладают токсическим действием, а во-вторых, долго сохраняются в экосистемах и плохо поддаются деструкции редуцентами.

Ксенобиотики не участвуют в пластическом и энергетическом обмене организмов-консументов и почти не выводятся с отходами их жизнедеятельности. Таким образом, эти соединения в отличие от питательных веществ накапливаются в пищевых цепях, длительное время присутствуют в тканях живых существ и почти полностью переходят на следующий трофический уровень. В результате значительные количества ксенобиотиков аккумулируются в организмах, представляющих конечные звенья пищевых цепей. Это явление называют *эффектом биологического накопления*. Иногда содержание ксенобиотика в организме консумента в 100 000—1 000 000 раз превышает его среднее содержание в экосистеме (рис. 4.14).

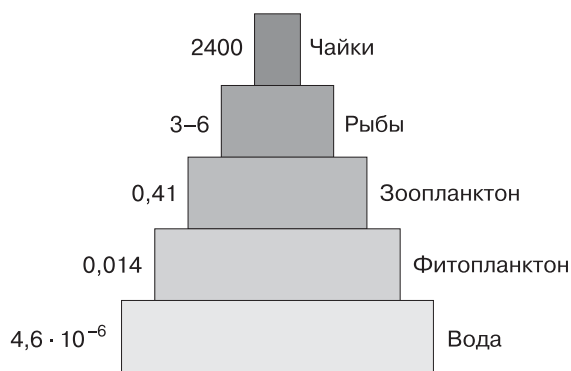


Рис. 4.14

Накопление ДДТ в пищевой цепи моря (цифры указывают содержание ксенобиотика, мг/кг)

Если водоросли живут в воде, содержащей 0,0000046 мг ДДТ в одном литре, за время своей жизни (три дня) они накапливают в своих телах до 0,014 мг/кг этого ксенобиотика (ДДТ поступает в организм водоросли из воды и остаётся в клетках).

Водорослями питаются ракообразные, которые за свою жизнь съедают количество пищи, в сотни раз превышающее массу их тела. Соответственно, концентрация ДДТ в их телах достигает 0,41 мг/кг.

Рыбы, поедая ракообразных, успевают за свою жизнь съесть в тысячи раз больше, чем весят сами. Так как ДДТ не разрушается и не выводится, то его концентрация в организмах рыб достигает 3—6 мг/кг.

В наихудшем положении находятся птицы, питающиеся рыбой. В их жировой ткани обнаруживается свыше 2400 мг/кг ДДТ.

В 1948 г. в Индии от малярии умерло 3 млн человек, а в 1965 г. — ни одного. Борьба с малярийным комаром оказалась успешной, когда начали применять ДДТ — синтетический пестицид, обладающий широким спектром действия и очень высокой химической устойчивостью. Химику П. Г. Мюллеру, руководителю лаборатории, где были обнаружены инсектицидные свойства ДДТ, была присуждена Нобелевская премия.

Поначалу казалось, что ДДТ почти не токсичен для гомойотермов. Его начали широко использовать. Однако чуть позже было обнаружено, что, попадая в организм птиц и млекопитающих, ДДТ может поражать лёгкие, разрушает костный мозг и печень, вызывает мутации, а повышение его концентрации в теле приводит к смертельному исходу. Кроме того, ксенобиотик накапливается в пищевых цепях, что имеет катастрофические последствия. ДДТ обнаруживали в организмах животных, обитающих за десятки тысяч километров от мест применения этого инсектицида, например в печени пингвинов, живущих в Антарктиде. Оказалось, что использование ДДТ поставило под угрозу существование некоторых видов птиц. Накопление его в организме самок вызывает истончение скорлупы откладываемых яиц. В результате многие яйца разбиваются и потомство погибает.

Концентрация ДДТ в пищевых цепях привела к практически полному исчезновению одного из видов соколов — сапсана (рис. 4.15), к нарушениям в популяциях ястребов-перепелятников, скоп и других видов.



Рис. 4.15

Сокol-сапсан (*Falco peregrinus*)

С конца 1960-х, когда появились факты, свидетельствующие о существенном накоплении ДДТ в организме человека, во многих странах были введены запреты на применение этого вещества. Хотя с тех пор прошло несколько десятков лет, отравление этим ксенобиотиком всё ещё возможно: большие его количества находятся в озерных и морских отложениях, и время от времени появляются данные о наличии ДДТ в тканях рыб и морских птиц.

Все живые организмы по-разному устойчивы к действию ксенобиотиков, так же как и к влиянию других экологических факторов. Это различие зависит от биологических особенностей вида и его экологических характеристик.

Толерантность домового воробья к ДДТ гораздо выше, чем певчих птиц сходных размеров. Существуют свидетельства того, что воробьи научились распознавать корм, загрязнённый ДДТ, и не поедают его.

Концентрацию ксенобиотиков в организмах консументов оценить достаточно просто. Сложнее определить его количество в телах редуцентов, имеющих малые размеры и живущих в почве. Но поскольку в наземных экосистемах

большая часть органических веществ попадает именно в детритные цепи, можно предположить, что редуценты страдают от присутствия ксенобиотиков ничуть не меньше, чем консументы 4—5-го порядков.

Есть мнение, что за время существования человеческого общества деятельность людей как минимум трижды способствовала возникновению масштабных экологических кризисов. Первый из них произошел около 15 тыс. лет назад, когда территория Евразии освобождалась от ледника. К тому времени люди уже освоили эффективные приёмы охоты. Тогда больше всего пострадали консументы, особенно крупные млекопитающие.

Второй экологический кризис наступил около 10 тыс. лет назад. Он был вызван сильным изменением климата при отступлении ледника к современным северным границам. К тому моменту люди начали активно осваивать приёмы земледелия и скотоводства. Тогда удар пришёлся по продуцентам, населявшим обширные пространства Африки, в те времена покрытые обильной растительностью.

Современный экологический кризис называют «кризисом редуцентов», так как ксенобиотики, производимые современной цивилизацией, попадают в детритные пищевые цепи и в наибольшей мере, по-видимому, влияют на редуцентов.

4.3. Динамика экосистем

Известно, что в современный период истории человечества почти все экосистемы испытывают антропогенное влияние. Реакция экосистемы на воздействие в целом отличается от реакции отдельного организма или популяции: даже в случае полного вымирания одного из видов его место в экосистеме, скорее всего, займёт экологически близкий вид, способный выполнять те же функции. Тем не менее очень важно определить *пределы устойчивости* экосистемы, чтобы иметь возможность *прогнозировать* допустимый уровень антропогенной нагрузки.

Динамическое равновесие в экосистеме

Подобно организмам и другим живым системам экосистемы реагируют на постоянно происходящие в среде изменения. Для устойчивого выполнения своей основной функции — *поддержания круговорота вещества и потока энергии* — экосистемы приобрели и всё время совершенствуют специальные адаптивные механизмы, при помощи которых они подстраиваются к колебаниям экологических факторов. Таким образом, экосистема сама постоянно изменяется и в то же время поддерживает свои основные показатели, т. е. находится в состоянии *динамического равновесия*.

Способность к самоподдержанию и саморегулированию получила название **гомеостаз** (от греч. *hómoios* — подобный, одинаковый и *stásis* — состояние, неподвижность). До определённых пределов экосистема может «гасить» неблагоприятные воздействия таким образом, что её существование в целом не нарушается (или она достаточно быстро возвращается в состояние, близкое к исходному).

Если при аварийном разливе нефти в наземной экосистеме её количество не превышает по массе 1% от массы верхнего слоя почвы, тогда активизируются особые почвенные микроорганизмы, способные расщеплять компоненты загрязнителя. Эта группа редуцентов питается легкоразлагаемыми фракциями нефти, оставляя без изменения инертный парафин. Численность таких микроорганизмов стремительно возрастает (в тысячи и десятки тысяч раз), в то время как численность остальных микроорганизмов резко падает из-за токсического действия чужеродного вещества.

Активность организмов, способных разрушать нефть, столь велика, что при указанных величинах загрязнения они уже через несколько лет снижают концентрацию нефти в десятки раз. По мере очищения экосистемы количество этих микроорганизмов в почве уменьшается до исходного, и постепенно восстанавливается свойственный данной почве микробиоценоз. При более значительных загрязнениях группы микроорганизмов-«очистителей» испытывают токсическое действие компонентов нефти и процесс восстановления затягивается на десятки лет или становится в принципе невозможным. В то же время в тысячу раз меньшее количество нефти, вылившейся в водоём (рис. 4.16), почти наверняка приведёт к полной гибели его экосистемы.



Рис. 4.16

Последствия загрязнения нефтью

■ Задание**

Вы изучали состав и свойства нефти в курсе химии. Вспомните, почему она так опасна для водных экосистем.

Приведённый пример иллюстрирует правило, согласно которому каждая экосистема имеет свои пределы выносливости по отношению к действию различных факторов. **Устойчивость экосистемы** определяют следующие её свойства:

↳ способность противостоять изменениям, вызываемым внешними воздействиями (это свойство называют **сопротивлением** или **резистентностью**);

↳ способность возвращаться в исходное состояние после прекращения действия нарушающего фактора (это свойство называют **упругостью**).

—► Существует несколько мнений о причинах различной устойчивости экосистем. Согласно одному из них причиной устойчивости экосистемы является разнообразие существующих в ней видов. Иначе говоря, если разнообразие видов в экосистеме достаточно велико, то при катастрофе хотя бы некоторые из них выживут и обеспечат дальнейшее функционирование экосистемы.

С другой стороны, очень сложные экосистемы, существующие в относительно стабильных условиях, оказываются менее устойчивыми, чем сообщества, включающие в себя относительно небольшое количество видов и пребывающие в нестабильных условиях. По-видимому, это явление во многом связано с тем, что в стабильной среде в популяциях преобладают *K*-стратеги, в изменяющихся условиях — *r*-стратеги (см. дополнительные сведения к 3.3).

■ Задание***

Какие свойства *K*- и *r*-стратегов позволяют сообществам сохранять устойчивость в стабильных и нестабильных условиях?

Периодические изменения в экосистеме

Всем экосистемам, так же как и более просто устроенным живым системам — отдельным организмам, свойственны особые **биоритмы** (биологические ритмы, или биологические циклы), связанные с периодическим изменением внешних условий.

Суточные циклы экосистем не отражаются на составе и взаимосвязях видов. При чередовании дня и ночи происходит смена активности различных организмов, что в каждый конкретный момент времени определяет облик экосистемы. Разделение периодов активности во времени позволяет животным снизить уровень прямой конкуренции за пищевые ресурсы: организмы исполь-

зуют различные виды и источники пищи. Косвенная межвидовая конкуренция при этом остаётся.

Наблюдая жаркую пустыню днём, можно сделать заключение о крайней скудости существующей в ней жизни (рис. 4.17). Ночью активность населяющих её видов существенно выше, и впечатление безжизненности исчезает.



Рис. 4.17

Пустыня днём

Сезонные циклы сказываются на разнообразии видов, населяющих экосистему, и, следовательно, на движении вещества и энергии. Так, хорошо известны сезонные миграции птиц и копытных млекопитающих, сезонные изменения активности насекомых и зверей, впадающих в спячку.

→ **Сезонно-климатические изменения экосистем** наиболее выражены в географических зонах, где условия летом и зимой существенно различаются. В экосистемах тропиков сезонные циклы также присутствуют. Их вызывает смена засушливых и влажных периодов.

Закономерные колебания климата, происходящие при периодическом изменении активности Солнца и магнитного поля Земли, вызывают **многолетние циклы** в экосистемах.

Наиболее известными являются 11-летние и вековые циклы, связанные с периодическим появлением на поверхности Солнца пятен — областей с пониженной температурой (рис. 4.18). Колебания солнечной активности сказываются на скорости размножения и развития многих животных, а также на развитии и урожайности высших растений.

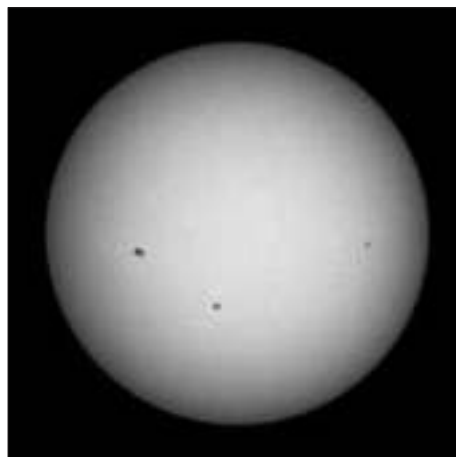


Рис. 4.18

Пятна на Солнце

Непериодические изменения в экосистеме

В экосистеме часто могут происходить незначительные случайные колебания — **флуктуации**. Они, как правило, не влекут за собой существенных последствий для сообщества организмов, и спустя некоторое время экосистема возвращается в прежнее состояние равновесия. Примером флуктуаций в экосистеме являются колебания её продуктивности в зависимости от погодных условий, которые определяют выживаемость консументов.

Иногда в экосистеме происходят продолжительные направленные изменения, которые сопровождаются перестройкой в её структуре и сменой состава видов.



а



б

Рис. 4.19

Заселение песчаных дюн

При заселении дюны на Тихоокеанском побережье сначала (рис. 4.19, а) на необжитой территории появляется злак песколюб (род *Ammophila*). Позже (рис. 4.19, б) на стороне дюны, обращённой в сторону материка, поселяются восковница (род *Myrica*) и слива прибрежная (*Prunus maritima*), а также шиповник (род *Rosa*) и ядовитый кустарник сумах (род *Toxicodendron*).

Закономерную последовательную смену сообществ на каком-либо участке среды, которая приводит к формированию *устойчивого сообщества*, называют **сукцессией**.

Сукцессии (от лат. *successio* — преемственность, наследование), начинающиеся на неплодородном субстрате, называют **первичными** или **сукцессиями заселения**, а образующиеся при этом сообщества носят название **пионерных**.

Пионерные сообщества (от франц. *pionnier* — первопроходец) обычно состоят из неприхотливых видов, нетребовательных к составу и обилию пищевых ресурсов и условиям микроклимата, — лишайников, водорослей, высших растений, способных быстро размножаться и расселяться.

На скалах сначала поселяются накипные формы лишайников. На этой же стадии формируется сообщество из сопутствующих им микроскопических водорослей, простейших, круглых червей, некоторых насекомых и клещей, которые способствуют созданию первичной почвы. Позднее здесь поселяются другие формы лишайников и специализированные виды мхов. Ещё позже (на возникшей примитивной почве) формируется сообщество высших растений. Параллельно идёт обогащение животного населения.

Вторичными сукцессиями, или *сукцессиями восстановления* называют закономерные смены сообществ на участках, уже изменённых деятельностью живых организмов. Например, сукцессии восстановления можно наблюдать при заселении пожарищ, вырубок и т. д.

В таёжной зоне после нарушения растительного покрова в результате пожаров или рубки леса коренным образом меняются условия освещённости, температуры, влажности. Первыми здесь формируются сообщества светолюбивых трав. Позднее начинается восстановление леса: прорастают светолюбивые лиственные породы (берёза, осина, ива), появляются кустарники. Одновременно формируется комплекс сопутствующих им животных: насекомых и других беспозвоночных, грызунов, птиц, рептилий. Эта стадия занимает в среднем 2—3 года, после чего подросшие деревья начинают вытеснять кустарники и светолюбивые травы. Сообщество приобретает вид молодого леса с несомкнутыми кронами.

Через 10—15 лет от начала сукцессии биоценоз представляет собой развитый лиственный лес. Под древесным пологом в условиях затенения и повышенной влажности прорастают семена ели. Постепенно хвойный молодняк окончательно заглушает луговую растительность — её сменяют мхи и лесное разнотравье. Молодые ели затеняют старые лиственные деревья, а новые лиственные деревья почти не появляются. В конце концов сообщество возвращается к исходному состоянию — ельнику.

При зарастании заброшенного поля в зоне широколиственных лесов первое лето (рис. 4.20, а) доминирует амброзия полыннолистная (*Ambrosia artemisiifolia*). Кустарники и небольшие деревья появляются через 10—15 лет, а через 25—30 лет они уступают место молодому широколиственному лесу (рис. 4.20, б). Спустя 100—200 лет этот лес приближается к зрелости (рис. 4.20, в).



а



б



в

Рис. 4.20

Пример вторичной сукцессии

В зависимости от причин, по которым происходят смены сообществ, сукцессии делят на **аллогенные** (от греч. *allos* — другой и *genes* — рождённый, т. е. вызванные внешними факторами) и **автогенные**, или **аутогенные** (от греч. *autys* — сам и *genes*, т. е. вызванные внутренними факторами).

Все сукцессии природных экосистем, вызванные антропогенными факторами, являются аллогенными: зарастание осушённого болота, восстановление луга после выпаса скота, зарастание террикона (отвала) на месте добычи полезных ископаемых и т. д.

Смены сообществ при заселении неплодородного субстрата являются примерами автогенных сукцессий. В этом случае каждое следующее сообщество сменяет предыдущее по внутренним причинам: растения изменяют среду своего обитания и делают её пригодной для других видов.

Конечную стадию сукцессии называются **климаксом** (от греч. *klimax* — лестница). Как правило, **климаксные сообщества** наиболее полно используют весь комплекс климатических, почвенных и других ресурсов, существующих в данной местности. Климакс считают относительно наиболее устойчивым состоянием растительного покрова в данном биогеоценозе.

Примером климаксного сообщества влажных тропиков является дождевой лес. В южной тайге — это ельники-черничники, ельники-зеленомошники и т. д.

- Обычно формирование зрелого климатического сообщества занимает длительное время, и развивающееся сообщество часто «не успевает» полностью приспособиться к изменяющимся условиям. В таких случаях стадия его развития носит название *субклимакс* — состояние, близкое к климатическому. В ризотонах субклимакса, тем же условиям климата, для одних и тех же условий может быть несколько.

В лесостепной зоне при одних и тех же климатических условиях на почвах, сходных по свойствам и составу, формируются два очень различающихся сообщества — дубравы и высокотравные степи. До сих пор идут дискуссии, каково направление сукцессии в лесостепной зоне — в сторону формирования лесов или степей. В чернозёмах (почвах степи) находят признаки, характерные для почв леса, и наоборот. Это является доказательством многократной циклической смены сообществ на данной территории.

Экосистемы, как и отдельные организмы, способны поддерживать динамическое равновесие при определённых колебаниях интенсивности воздействующих на них факторов. Устойчивость экосистем зависит от их структуры и особенностей составляющих их популяций. Биоценозы экосистем сохраняют свои основные черты при суточных, сезонных изменениях и флуктуациях и практически полностью меняют свой облик в ходе сукцессий. Конечная стадия (климакс) наиболее полно соответствует комплексу условий данной территории.

→ ВОПРОСЫ ДЛЯ КОНТРОЛЯ

1. Что такое гомеостаз и устойчивость экосистем?
- 2.** С чем связано возникновение периодических изменений экосистем?
- 3.*** Некоторые учёные считают, что климаксных сообществ в настоящее время не существует. Как вы думаете, на чём основано это мнение?

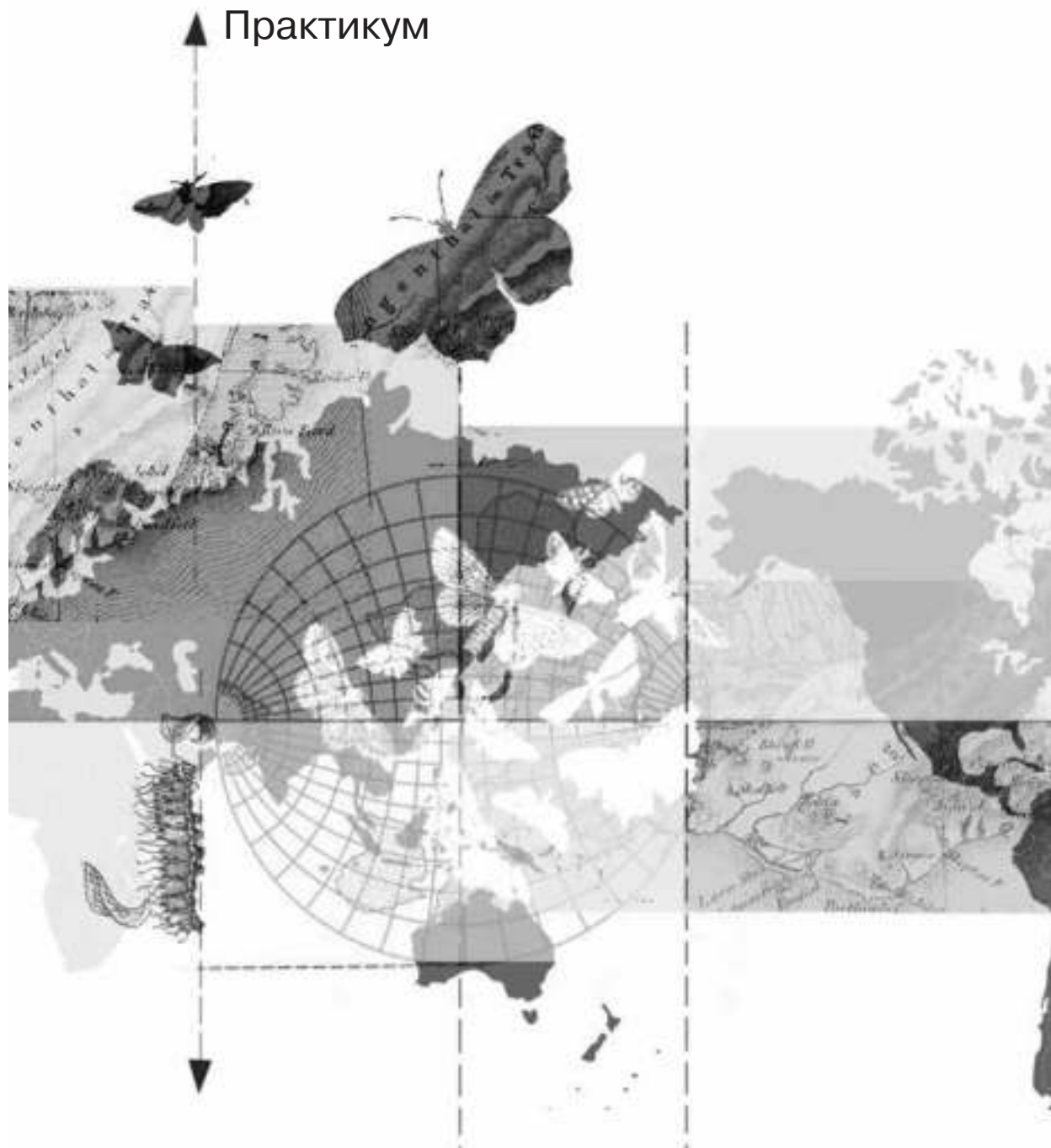
→ ТЕСТОВЫЕ ЗАДАНИЯ

1. В пионерных сообществах, заселяющих каменистые субстраты, доминируют:
а) цветковые растения; в) лишайники;
б) сосны; г) мхи.

2. Флуктуация отличается от сукцессии тем, что:
 - а) является периодическим изменением, а сукцессия — нет;
 - б) происходит по внутренним причинам, а сукцессия зависит от внешних факторов;
 - в) не приводит к смене сообщества;
 - г) приводит к смене сообщества, а сукцессия — нет.
3. Термином «вторичная сукцессия» следует назвать процесс:
 - а) заселения возникшего посреди моря вулканического острова;
 - б) зарастания отвалов горных пород после добычи полезных ископаемых;
 - в) восстановления растительности после ядерного взрыва;
 - г) заселения дюны растительными организмами.
4. Климаксное сообщество отличается от других сообществ тем, что оно:
 - а) первым заселяет бесплодный субстрат;
 - б) первым заселяет плодородный субстрат, лишившийся растительности;
 - в) формируется через 10—15 лет после начала сукцессии;
 - г) является конечной стадией сукцессии.
5. Сукцессию, возникающую под влиянием внешних причин, называют:
 - а) первичной;
 - б) вторичной;
 - в) аллогенной;
 - г) автогенной.

Часть 2

▲ Практикум



Подготовка научных исследований и обработка полученных результатов

5.1. Работа с библиографическими текстами

Библиографической записью (библиографическим текстом) называют текст, описывающий издание. Такая запись может быть краткой, как библиографическое описание публикации в списке литературы. Для более широкой характеристики издания в библиографическую запись вводят так называемую *аннотацию* или *реферат*.

Оформление библиографических ссылок

Библиографические ссылки (см. 1.3) оформляют одним из трёх нижеописанных способов.

1. Полная ссылка. В ней указывают подробные библиографические сведения об источнике информации, заключая их в круглые скобки. Например (обратите внимание на знаки, разделяющие текст ссылки):

...как свидетельствует Фабр, скарабей любит солнце (Фабр Ж.-А. Жизнь насекомых. Рассказы энтомолога. — М. : Армада-пресс, 2001. С. 73)...

Если нужно сослаться не на конкретное место в тексте, а на всю работу, то страницу в ссылке не указывают.

Полная ссылка хороша для рефератов, конспектов и удобна тем, что сразу дает читателю представление об издании. Она неприемлема в тех случаях, когда приходится упоминать публикацию неоднократно (например, в научном отчёте).

2. Сокращённая ссылка более компактная, но при её использовании строго обязателен список литературы к работе, где указана детальная информация о цитируемом (упоминаемом) источнике:

...как известно, скарабей любит солнце (Фабр Ж.-А., 2001. — С. 73)...

Возможен ещё более укороченный вариант (год выпуска и страницу при этом разделяют запятой):

...как свидетельствует Ж.-А. Фабр (2001, с. 73), скарабей любит солнце...

Если нужно в работе поместить рисунок или таблицу из другого издания, тогда ссылку располагают после названия таблицы или подписи к рисунку:

Рис. 10. *Название рисунка* (по Ж.-А. Фабру, 2001)

Таблица 3. *Название таблицы* (по Ж.-А. Фабру, 2001)

3. Ссылка, указывающая номер произведения в списке литературы, — это самый краткий вариант оформления. В этом случае ссылку заключают в квадратные скобки:

...особенности поведения скарабея описаны в ряде работ [12, 15]...

Или — с указанием страниц, где находится упоминаемая информация (ссылки на разные литературные источники разделяют точкой с запятой, отграниченной с обеих сторон пробелами):

...как свидетельствуют учёные, скарабей любит солнце [12, с. 73 ; 15, с. 26—27]...

Этот и предыдущий способы оформления ссылок наиболее удобны при написании научной работы.

Иногда в рефератах и конспектах используют подстрочные ссылки. В тексте ставят знак сноски (арабская цифра или звездочка, если сноска на странице не-много), а полные библиографические сведения помещают внизу страницы:

...как свидетельствует Фабр, скарабей любит солнце¹...

¹ Фабр Ж.-А. Жизнь насекомых. Рассказы энтомолога. — М. : Армада-пресс, 2001. С. 73.

Если на странице нужно два или несколько раз упомянуть (цитировать) один и тот же источник, повторные ссылки следует сокращать:

...как свидетельствует Фабр, скарабей любит солнце¹...

...Для этого жука обычным делом являются драки, грабёж и воровство. Голодом этот грабёж объяснить нельзя, так как бывает, что вор бросает украденный шар, лишь немного покатав его²...

¹ Фабр Ж.-А. Жизнь насекомых. Рассказы энтомолога. — М. : Армада-пресс, 2001. С. 73.

² Там же. С. 74.

Если автор цитирует статью из журнала (сборника), тогда подстрочную ссылку оформляют так же, как описание для списка литературы (см. ниже).

Описание публикаций в списке литературы

Для книги сначала указывают *фамилию и инициалы автора* (в описании книги, вышедшей под заглавием, эта часть описания отсутствует). Если авторский коллектив включает четырёх и более человек, тогда следует указать фамилии первых трёх авторов (или только первого из них), а остальные фамилии обозначить сокращением «и др.» в квадратных скобках: [и др.].

В конце этой части библиографического описания нужно поставить точку. За ней следует *заглавие* издания:

Спиер Р. Е., Адамс Г. Д., Гриффитс Д. Б. [и др.]. Биотехнология клеток животных...

Затем указывают *сведения, относящиеся к заглавию*: тип, жанр издания, количество томов, перевод с иностранного языка. Каждое из сведений отделяют от предыдущего фрагмента описания двоеточием, отграниченным с обеих сторон пробелами (если поясняющих сведений нет, после заглавия ставят точку):

Спиер Р. Е., Адамс Г. Д., Гриффитс Д. Б. [и др.]. Биотехнология клеток животных : в 2 т. : пер. с англ.

Далее нужно отметить *место публикации* издания (город и название издательства) и *год* выхода в свет. Эту часть описания отделяют от предыдущей точкой и тире. Названия города и издательства разделяют двумя пробелами и двоеточием, а дату отделяют запятой:

Спиер Р. Е., Адамс Г. Д., Гриффитс Д. Б. [и др.]. Биотехнология клеток животных : в 2 т. : пер. с англ. М. : Агропромиздат, 1989

Названия некоторых городов в этой части описания принято сокращать: Москва — М., Санкт-Петербург — СПб., Нижний Новгород — Н. Новгород, Ростов-на-Дону — Ростов н/Д и т. д.

В конце записи нужно указать *объём* издания, который отделяют от предыдущей части описания точкой. Если книга состоит из нескольких томов (частей), то последовательно приводят объём каждого из них (разделяя эти фрагменты описания двумя пробелами и точкой с запятой):

Спиер Р. Е., Адамс Г. Д., Гриффитс Д. Б. [и др.]. Биотехнология клеток животных : в 2 т. : пер. с англ. М. : Агропромиздат, 1989. Т. 1. 270 с. ; Т. 2. 250 с.

Если в исследовательской или реферативной работе использована информация только из одного (или некоторых томов) *многотомного неперiodического издания*, номер этого тома приводят после сведений о заглавии. В конце описания указывают только объём названного тома:

Спиер Р. Е., Адамс Г. Д., Гриффитс Д. Б. [и др.]. Биотехнология клеток животных : в 2 т. : пер. с англ. Т. 2. М. : Агропромиздат, 1989. 250 с.

Таким образом, все перечисленные элементы библиографического описания разделены строго определёнными знаками, а все фамилии, инициалы, названия, а также части описания, следующие за знаком «. —» (точка — тире), всегда записывают с заглавной буквы.

Для статьи «сведениями, относящимися к заглавию» является заглавие сборника (журнала), в котором помещена статья. Принадлежность статьи к сборнику (журналу) отмечают знаком «//» — две косые черты, обособленные пробелами, и после заглавия статьи точку не ставят. Если периодическое издание состоит из нескольких серий («Физика», «География», «Биология» и т. п.), тогда указывают и заглавие серии, в которой опубликована статья, отделяя его точкой от заглавия журнала (сборника):

Нешатаев Ю. Н., Ухачева В. Н. Новые виды растений для Башкирского заповедника // Вестник ЛГУ. Сер. 3. Биология

Взамен указания места публикации всего издания (в данном случае журнала или сборника) приводят только *том* (если издание выходит в нескольких томах) и *номер (выпуск)*, в котором опубликована статья. Эти фрагменты описания разделяют запятой. Дату выхода интересующего тома (номера, выпуска), как правило, помещают перед указанием тома (номера, выпуска):

Нешатаев Ю. Н., Ухачева В. Н. Новые виды растений для Башкирского заповедника // Вестник ЛГУ. Сер. 3. Биология. 1987. № 3

Вместо указания объёма журнала (сборника) указывают только *страницы*, на которых размещена описываемая статья.

Нешатаев Ю. Н., Ухачева В. Н. Новые виды растений для Башкирского заповедника // Вестник ЛГУ. Сер. 3. Биология. 1987. № 3. С. 29—35.

Как уже упоминалось в разделе 1.3, существуют и другие общепринятые стили цитирования. Например, в международных публикациях используют стили APA, MLA, Чикагский, Ванкуверский и т. д. Различия между ними заключаются в порядке следования основных элементов описания и способе их отделения друг от друга (см. ниже).

Стиль APA: Нешатаев, Ю., & Ухачева, В. (1987). Новые виды растений для Башкирского заповедника. *Вестник ЛГУ. Сер. 3. Биология*, № 3, 29–35.

Стиль MLA: Нешатаев, Ю.Н. и Ухачева, В.Н. «Новые виды растений для Башкирского заповедника.» *Вестник ЛГУ. Сер. 3. Биология*, № 3 (1987), 29–35.

Стиль Vancouver: Нешатаев ЮН, Ухачева В.Н. Новые виды растений для Башкирского заповедника. *Вестник ЛГУ. Сер. 3. Биология*. 1987;(3): с. 29–35.

Составление аннотаций и рефератов

Аннотация включает в себя полный комплект библиографических сведений: данные об авторе, заглавии, месте и дате выхода в свет и т. д. Также в очень краткой форме она отражает содержание работы. В готовых изданиях аннотации расположены на обороте титульного листа или в конце книги.

Реферат издания обычно подразумевает более развёрнутое описание работы. Кроме сведений, указываемых в аннотации, в нём приводят данные о том, какова структура издания (деление на части, разделы, главы, параграфы), отмечают наиболее интересные, на взгляд автора реферата, фрагменты.

Строгой формы составления реферата не существует, но, как правило, он должен содержать следующие элементы:

↳ сведения, приводимые в библиографической ссылке при составлении списка литературы;

↳ описание жанра и адресата издания;

↳ характеристику структуры работы: количество и соподчинение её составных частей (глав, параграфов и т. д.), сведения о наличии и количестве таблиц, рисунков, приложений;

↳ результаты критического анализа прочитанного текста;

↳ выводы о том, как именно можно использовать содержание данного издания (например, указание научной темы, при разработке которой может понадобиться эта работа, и т. п.).

Следует помнить, что реферат издания, включаемый в библиографическую запись, должен быть достаточно кратким (не более одной страницы).



ЗАДАНИЯ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОГО ВЫПОЛНЕНИЯ

1. Ознакомьтесь с каталогами школьной библиотеки, кабинетов химии и биологии и составьте библиографические записи о книгах по экологической тематике.

2. По собственному выбору или по рекомендации учителя выберите несколько наиболее интересных изданий и составьте рефераты к ним.

5.2. Использование компьютера для анализа данных исследования

Существует немало компьютерных программ-редакторов, позволяющих оперировать с числовыми данными. Эти программы работают с документами, имеющими вид таблицы (электронной таблицы). В редактор электронных таблиц встроены автоматические «помощники», помогающие составлять формулы, выбирать и применять необходимые функции для вычислений и строить диаграммы. Такой инструмент подчас оказывается незаменимым при обработке результатов экспериментов и наблюдений и подготовке научного отчёта.

3. Полнение электронной таблицы

При открытии окна программы редактора вся область документа представляет собой незаполненную электронную таблицу, разделенную на множество ячеек (рис. 5.1). Каждый документ («книга») по умолчанию содержит несколько отдельных рабочих листов. Это позволяет использовать некоторые из них в качестве черновика, а некоторые — для оформления окончательного варианта работы.

Строки электронной таблицы пронумерованы сверху вниз арабскими цифрами, а столбцы обозначены буквами латинского алфавита, подобно тому как это делают при игре в шахматы или в «морской бой». Таким образом, каждая ячейка имеет точный адрес, состоящий из буквы и числа (**A1**, **B1**, **C1** и т. д.). Его используют при составлении формул и создании графиков.

Навигация по таблице осуществляется с помощью вертикальной и горизонтальной линеек прокрутки (нужно с помощью мыши установить курсор на линейке и передвигать её, удерживая левую кнопку мыши) или клавишами со стрелками в правой нижней части клавиатуры. Нажатие клавиши <Enter> на клавиатуре позволяет перейти на ячейку ниже.

Таблица должна иметь название, поэтому несколько ячеек первой строки объединяют, а в объединённой ячейке набирают название таблицы, например «Численность населения». Для объединения ячеек их выделяют перемещением курсора при нажатой левой кнопке мыши. На панели меню редактора открывают меню 1 (см. рис. 5.1) **Формат (Format)** и выбирают команду меню **Ячейки**. В открывшемся диалоговом окне переходят к вкладке **Выравнивание** и в группе **Отображение (Text Control)** выбирают способ отображения тек-

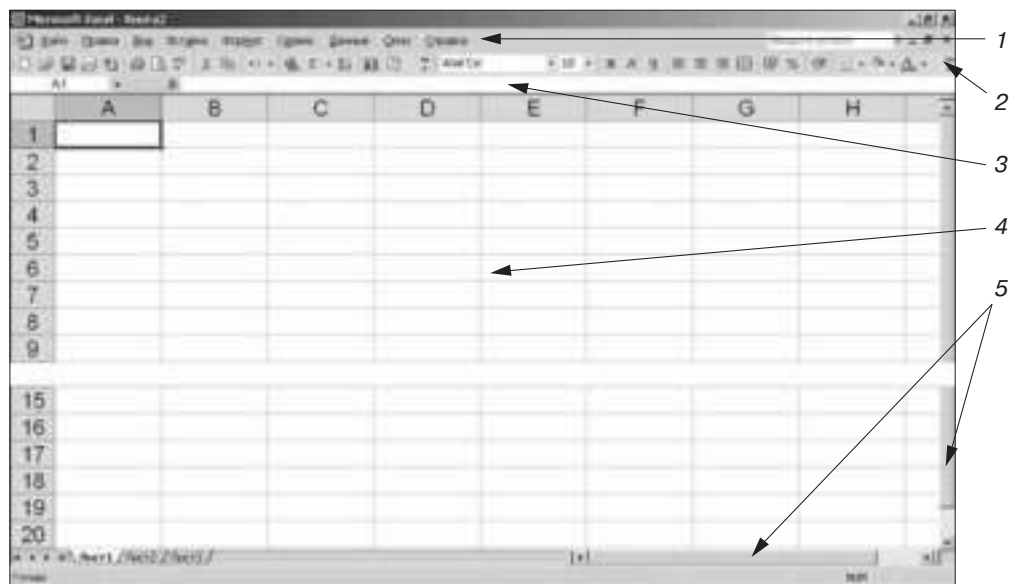


Рис. 5.1

Внешний вид окна программы редактора электронных таблиц на примере Microsoft® Office Excel: 1 — стандартная панель меню; 2 — стандартные кнопки инструментов; 3 — строка формул; 4 — поле таблицы; 5 — линейки прокрутки видимого поля



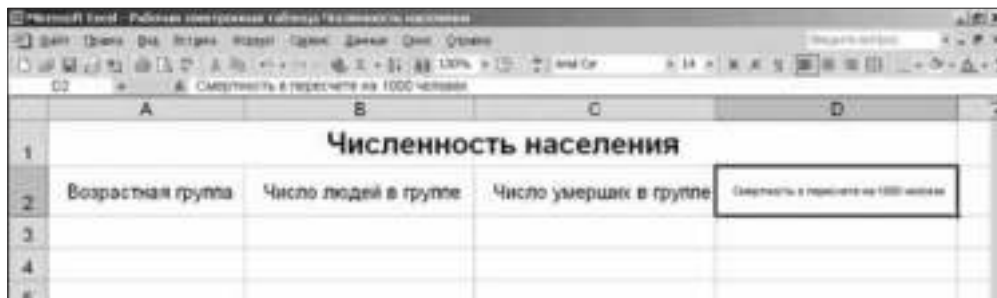
Рис. 5.2

Диалоговое окно меню «Формат ячеек»

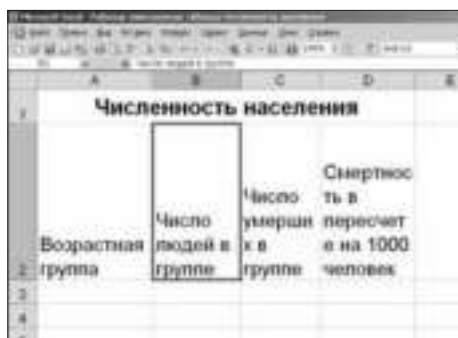
ста в выбранных ячейках, отмечая галочкой команду **Объединение ячеек** (рис. 5.2).

В группе **Отображение** можно указать дополнительные параметры отображения текстового содержимого ячеек — автоматически подобрать размер шрифта так, чтобы вся надпись поместилась в одну строку (рис. 5.3, а), или переносить по словам, если они длиннее ширины ячейки (рис. 5.3, б).

На вкладке **Выравнивание** можно также выбрать варианты ориентации текста в ячейке (вертикально, горизонтально, под углом) и его выравнивания (по правому или по левому краю ячейки или по центру).



а



б

Рис. 5.3

Варианты отображения текста в ячейках

На вкладке **Число** того же диалогового окна можно задать способ отображения числовых данных, включая число отображаемых знаков после запятой.

Для того чтобы ввести данные в ячейку, следует установить на ней курсор щелчком мыши и набрать слово или число. Аналогичное изменение появится в строке формул 3 (см. рис. 5.1). В ней всегда отображено содержимое той ячейки, на которой установлен курсор (рис. 5.4). Поэтому внесённые данные можно изменять, поместив курсор в нужную ячейку и исправляя текст в строке формул. Чтобы вносить изменения непосредственно в ячейку, нужно дважды щёлкнуть на ней мышью, иначе её содержимое будет заменено полностью.

Возрастная группа	Число людей в группе	Число умерших в группе	См пер 100
от 0 до 1	173400	1651	
от 1 до 4	666000	340	
от 5 до 9	876000	218	
от 10 до 19	2144400	802	
от 20 до 29	2166400	1197	
от 30 до 39	1672300	1480	

Рис. 5.4

Фрагмент таблицы «Численность населения» с исходными данными

Подсчёты и вычисления

При анализе результатов исследования почти всегда требуется математическая обработка данных. По таблице «Численность населения» можно подсчитать общее число людей в исследованной популяции, т. е. *суммировать* данные второго столбца. Для этого следует использовать встроенную в редактор функцию **Автосумма**.

Чтобы произвести подсчёт, нужно установить курсор в любую пустую ячейку столбца **B** и нажать кнопку Σ на панели инструментов 2 (см. рис. 5.1). Редактор автоматически определит ячейки с данными для суммирования, и в выбранной вами ячейке появится формула: [=СУММ(B3:B13)] или [=SUM(B3:B13)]. В круглых скобках указаны адреса первой и последней ячеек интервала с данными для суммирования. Функция суммирования обозначена как СУММ (SUM). Область данных для вычислений выделена мерцающей пунктирной линией (рис. 5.5).

Чтобы изменить область данных (например, если требуется суммировать только число детей в возрасте до 9 лет), следует перевести курсор на первую из нужных ячеек, щёлкнуть левой кнопкой мыши и, не отпуская кнопку, выделить соответствующий интервал ячеек (в данном случае — от **B3** до **B5**). Формула суммирования изменится: [=СУММ(B3:B5)] или [=SUM(B3:B5)]. Если область данных выбрана редактором правильно, следует нажать клавишу <Enter> на клавиатуре. Тогда вместо формулы в ячейке будет показан результат суммирования.

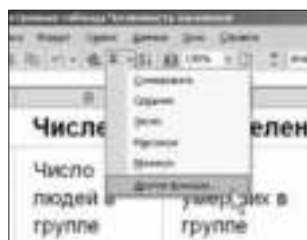
Кроме суммирования (наиболее часто используемой функции) редактор таблиц предлагает другие встроенные функции — и математические, и статисти-

ческие, и финансовые, и др. Для выбора любой из них нужно вызвать диалоговое окно **Мастера функций**. Для этого следует поместить курсор на кнопку Σ на панели инструментов, нажать на её правый край со стрелкой и в раскрывшемся списке команд выбрать команду **Другие функции...**, щёлкнув левой кнопкой мыши (рис. 5.6, а). Второй способ — на панели меню выбрать меню **Вставка** и открыть команду **Функция**. В появившемся диалоговом окне **Мастера функций** можно запросить подробную справочную информацию о выбранной функции (рис. 5.6, б).

Возрастная группа	Число людей в группе	Число умерших в группе	Смертность в пересчёте на 1000 человек
3. от 0 до 1	173400	1851	
4. от 1 до 4	688900	340	
5. от 5 до 9	870900	218	
6. от 10 до 19	2144400	800	
7. от 20 до 29	2165400	1197	
8. от 30 до 39	1672200	1480	
9. от 40 до 49	1248400	2703	
10. от 50 до 59	1211100	8452	
11. от 60 до 69	894900	11656	
12. от 70 до 79	560700	18480	
13. от 80 и выше	328500	29900	

Рис. 5.5

Внешний вид таблицы на этапе введения в свободную ячейку формулы для суммирования



а

Рис. 5.6

Вызов «Мастера функций»: а — нажатие кнопки со списком команд на панели инструментов; б — диалоговое окно «Мастера функций» (выбрана категория «Математические») и окно справки по выбранной функции (КОРЕНЬ)



б

Часто при обработке результатов экспериментов и наблюдений требуется самостоятельно создавать формулы. Например, в демографии смертность за определённый период обычно подсчитывают по формуле (см. 3.1):

$$\text{Смертность} = \frac{N_d}{N_0} \cdot 1000.$$

Для подсчёта смертности в возрастных группах по данным таблицы «Численность населения» нужно число умерших в каждой группе (ячейки третьего столбца) разделить на число людей в этой группе (ячейки второго столбца) и умножить частное на 1000. Чтобы создать такую формулу, следует установить курсор в первую свободную ячейку четвёртого столбца (**D3**) и нажать на клавиатуре клавишу = (каждая формула в электронной таблице начинается со знака «равно»). После этого поместить курсор в ячейку **C3** и щёлкнуть левой кнопкой мыши (указать делимое). Нажать на клавиатуре клавишу /. Установить курсор в ячейку **B3** и щёлкнуть левой кнопкой мыши (указать делитель). Задать с клавиатуры знак умножения — * и число 1000. Составленная формула выглядит так: [=C3/B3*1000] (рис. 5.7, а). Затем нужно нажать клавишу <Enter> на клавиатуре, и в ячейке **D3** появится результат вычисления, а сама формула будет отображена в строке формул (рис. 5.7, б).

Чтобы подсчитать смертность в остальных возрастных группах, нужно подвести курсор к нижнему правому углу ячейки **D3**. Курсор примет вид крестика.

Возрастная группа	Число людей в группе	Число умерших в группе	Смертность в пересчете на 1000 человек
от 0 до 1	173400	1651	=C3:B3/1000
от 1 до 4	686900	340	

а

Возрастная группа	Число людей в группе	Число умерших в группе	Смертность в пересчете на 1000 человек
от 0 до 1	173400	1651	9.52
от 1 до 4	686900	340	

б

Возрастная группа	Число людей в группе	Число умерших в группе	Смертность в пересчете на 1000 человек
от 0 до 1	173400	1651	9.52
от 1 до 4	686900	340	0.49
от 5 до 9	876600	216	
от 10 до 19	2144400	802	
от 20 до 29	2165400	1197	
от 30 до 39	1672200	1480	
от 40 до 49	1249400	2703	

в

Возрастная группа	Число людей в группе	Число умерших в группе	Смертность в пересчете на 1000 человек
от 0 до 1	173400	1651	9.52
от 1 до 4	686900	340	0.49
от 5 до 9	876600	216	0.25
от 10 до 19	2144400	802	0.37
от 20 до 29	2165400	1197	0.55
от 30 до 39	1672200	1480	0.88
от 40 до 49	1249400	2703	2.16
от 50 до 59	1211100	6452	5.33
от 60 до 69	894600	11656	13.03
от 70 до 79	560700	18450	32.81
от 80 и более	343500	28900	84.16

г

Нажать левую кнопку мыши и, не отпуская её, «растянуть» область применения формулы вниз до ячейки **D13** включительно (рис. 5.7, в, г).

При статистическом анализе выборки неоднократно приходится вычислять корень из числа или возводить число в степень:

$$S_b = \sqrt[k]{p_1 \cdot p_2 \cdot p_3, \dots, p_k},$$

$$S_d = \sqrt{S_{x_1}^2 + S_{x_2}^2} \text{ и т. д.}$$

Если нужно составить формулу, в которой использован квадрат какой-либо величины, например выборочной средней ($\bar{x}^2$), следует передвинуть курсор в свободную ячейку, куда будет помещён результат, и ввести в неё с клавиатуры знак $=$. Затем указать адрес ячейки, содержащей значение выборочной средней (его подсчитывают с помощью встроенной функции редактора — см. 5.3). Адрес можно набрать с клавиатуры или щёлкнуть левой кнопкой мыши на соответствующей

Рис. 5.7

Внешний вид таблицы при подсчёте смертности:

а — на этапе составления формулы;

б — после подсчёта смертности в первой возрастной группе;

в — при расширении области применения формулы из ячейки D3;

г — по окончании вычислений

ячейке. Задать с клавиатуры знак умножения — *, повторить адрес ячейки и нажать клавишу <Enter>. Формула для вычисления ($\bar{x}^2$) будет иметь вид (допустим, что значение ($\bar{x}^2$) расположено в ячейке **B18**): [=B18*B18].

Обычный способ создания подобной формулы — выбрать свободную ячейку, щёлкнув на ней левой кнопкой мыши. Вызвать диалоговое окно **Мастера функций** (см. рис. 5.6) и выбрать функцию СТЕПЕНЬ (POWER). В следующем диалоговом окне в строке **Число** указать адрес ячейки, содержащей значение нужной величины. В строку **Степень** ввести число «2» с клавиатуры.

При вычислении показателя изменчивости (S_b) необходимо произвести две операции: «умножить» (знак умножения задают с клавиатуры) и «вычислить корень». Для составления такой формулы следует установить курсор на свободной ячейке, вызвать диалоговое окно **Мастера функций** и выбрать функцию КОРЕНЬ (SQRT). В следующем диалоговом окне в строке **Число** указать адреса ячеек со значениями долей признака. Между адресами ячеек нужно вставить знак умножения и затем нажать клавишу <Enter> на клавиатуре или кнопку **ОК** в диалоговом окне **Мастера функций**. В ячейке для размещения формулы появится результат вычислений, а сама формула будет отображена в строке формул, например: [=КОРЕНЬ(B20*C20)] или [=SQRT(B20*C20)]. Круглые скобки отделяют операцию «умножение» от операции «вычислить корень».

Аналогичным образом можно создавать самые разнообразные формулы. Если в формуле присутствуют несколько математических операций (сложение и вычитание, умножение и деление), следует обособлять их друг от друга круглыми скобками (сначала будет выполнено действие, указанное в скобках).

Построение диаграмм

Диаграммы (гистограммы, графики и т. д.) предназначены для наглядного представления числовых данных, поэтому, прежде чем приступить к построению, следует ответить как минимум на два вопроса: «Какие данные включать в диаграмму?» и «Какую основную закономерность должна продемонстрировать диаграмма?».

Для построения диаграммы по данным таблицы «Численность населения», показывающей, какое количество людей входит в каждую возрастную группу, понадобятся данные столбца **В**, а также столбец **А**, в котором указаны оцениваемые возрастные интервалы. Вторая строка таблицы содержит названия столбцов, и её данные будут использованы в качестве обозначений на диаграмме.

Для построения диаграммы следует установить курсор в первую значимую ячейку (**A2**) и, удерживая левую кнопку мыши, выделить область до ячейки **B13** включительно. Далее нужно вызвать диалоговое окно **Мастера диаграмм**, нажав кнопку  на панели инструментов (рис. 5.8) или вызвав его через меню **Вставка**, команду меню **Диаграмма**. Построение диаграммы происходит за четыре шага.

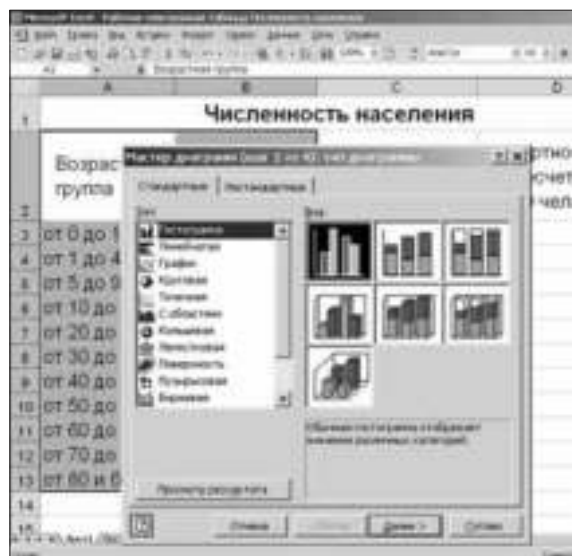


Рис. 5.8

Диалоговое окно «Мастера диаграмм» (первый шаг построения диаграммы — определение её типа)

Шаг 1. Выбор типа диаграммы тесно связан со вторым из двух вопросов, которые были поставлены выше. Если желательно показать, каковы количественные различия возрастных групп людей, лучше выбрать тип диаграммы, довольно хорошо демонстрирующий динамику, изменение, ход процесса, например график или гистограмму (столбчатую диаграмму). Каждый столбец гистограммы будет соответствовать численности той или иной возрастной группы.

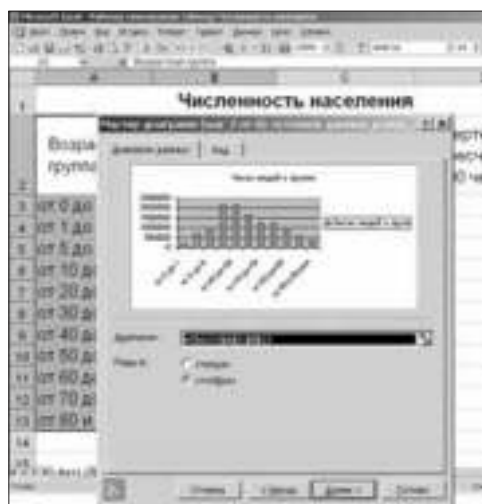
Шаг 2. Мастер диаграмм предлагает уточнить диапазон значений, по которым будет построена диаграмма (рис. 5.9, а). Поскольку нужный диапазон уже задан, следует нажать кнопку **Далее**.

Шаг 3. Мастер диаграмм предлагает установить параметры диаграммы (рис. 5.9, б). На вкладке **Заголовки** следует ввести название диаграммы («Численность населения») и названия осей *X* («Возрастная группа») и *Y* («Число людей»). Все вносимые изменения будут отражены в окне предварительного просмотра.

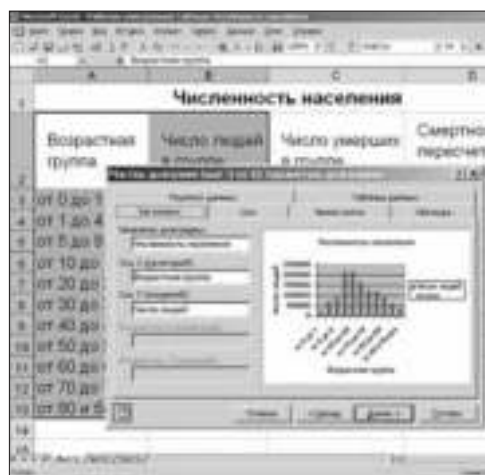
На вкладке **Подписи данных** можно дополнить диаграмму поясняющими подписями. Так, если выбрать вариант **Значение**, тогда над каждым столбцом гистограммы будет указано число людей в соответствующей возрастной группе.

На вкладке **Оси** выбирают (при необходимости) тип шкалы для осей *X* и *Y*. На вкладках **Легенда** и **Таблица данных** указывают варианты размещения соответствующих элементов диаграммы или отменяют эти подписи. Вкладка **Линии сетки** позволяет задать дополнительные линии, параллельные основным осям, упрощающие поиск нужного значения на диаграмме. Если сетка не нужна, её можно отключить, убрав галочку из соответствующей строки.

Шаг 4. Мастер диаграмм предлагает выбрать вариант размещения диаграммы — на том же рабочем листе документа, где расположены исходные данные, или на отдельном листе (рис. 5.10, а). Если разместить диаграмму на от-



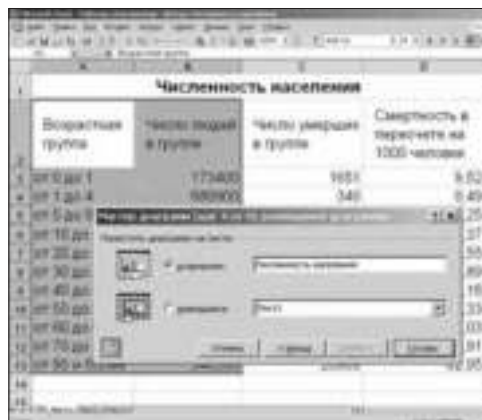
а



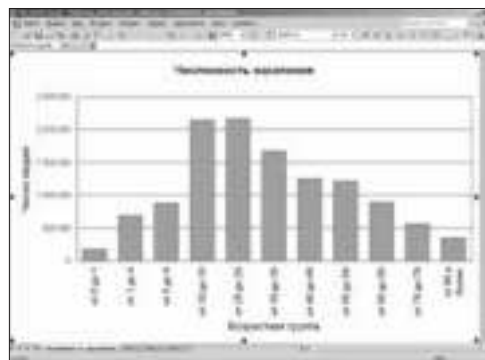
б

Рис. 5.9

Диалоговое окно «Мастера диаграмм» на втором (а) и третьем (б) шагах построения диаграммы



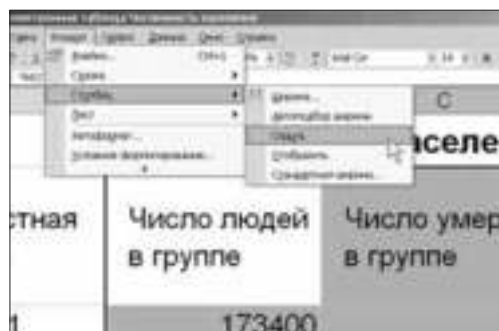
а



б

Рис. 5.10

Завершение построения столбчатой диаграммы: а — диалоговое окно «Мастера диаграмм» на четвёртом шаге; б — готовая гистограмма, отражающая возрастную структуру населения



а

Рис. 5.11

Операция скрывания области неиспользуемых данных (а) и результат данной операции (б)

Возрастная группа	Численность населения
от 0 до 1	9,52
от 1 до 4	0,49
от 5 до 9	0,25
от 10 до 19	0,37
от 20 до 29	0,55
от 30 до 39	0,89
от 40 до 49	2,16
от 50 до 59	5,33
от 60 до 69	13,03
от 70 до 79	32,91
от 80 и более	82,95

б

дельном листе, позже её будет легче найти. В активном поле окна можно указать имя нового листа, например «Численность населения».

Чтобы изменить какие-либо параметры готовой диаграммы или её частей, нужно поместить курсор в поле диаграммы на тот элемент, который необходимо изменить, и затем двойным щелчком левой кнопки мыши открыть диалоговое окно **Формат...: Формат области построения** или **Формат легенды**, **Формат оси** и т. д. Так, в случае графика или точечной диаграммы в окне **Формат оси** можно изменять внешний вид оси и цену деления её шкалы. В окне **Формат названия оси** можно задавать желаемый размер шрифта, его начертание, цвет, положение надписи относительно горизонтали и др.

В случае если основная цель построения диаграммы — показать соотношение, используют другие типы диаграмм — более статичные, такие как круговая диаграмма. Они хорошо показывают соотношение частей, объёмов, отношения «больше — меньше» и т. д. Например, при сравнении смертности в различных возрастных группах важно продемонстрировать, в каких группах смертность больше, а в каких — меньше.

Для построения круговой диаграммы, отражающей смертность в возрастных группах, потребуются только первый и четвёртый столбцы таблицы (А и D). Поэтому сначала следует скрыть неиспользуемые данные (рис. 5.11).

Для этого нужно выделить столбцы **B** и **C**: поместить курсор в ячейку **B2** и, удерживая левую кнопку мыши, переместить его в ячейку **C13**. Далее на панели меню редактора следует выбрать меню **Формат**, открыть подменю **Столбец**, а в нём — команду **Скрыть**. Для возврата к нормальному виду таблицы нужно выделить столбцы, смежные со скрытыми (**A** и **D**), и повторить процедуру, выбрав команду **Отобразить**.

Далее нужно вызвать окно **Мастера диаграмм** и на первом шаге построения выбрать круговую диаграмму, например с разъёмными секторами (рис. 5.12), на которой хорошо видно, что смертность младенцев (до года) довольно велика. В следующих возрастных группах этот показатель резко снижен и начинает увеличиваться в группах, прошедших рубеж 50 лет. Наибольшая смертность приходится на возраст более 80 лет.

Для того чтобы перенести таблицу или диаграмму из редактора таблиц в текстовый редактор, например в Word, нужный объект выделяют, копируют в буфер обмена, открывают текстовый документ, выбирают местоположение таблицы или диаграммы, устанавливая на него курсор щелчком мыши, и вставляют объект из буфера обмена.

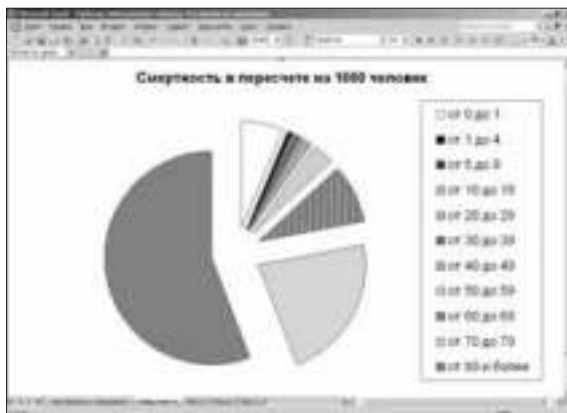


Рис. 5.12

Готовая круговая диаграмма, показывающая соотношение значений смертности в различных возрастных группах людей

5.3. Вычисление статистических показателей количественной изменчивости

Исследовали два сорта гороха на устойчивость к поражению тлёй (26 растений каждого сорта). При обследовании сорта «Вега» на 15 растениях было обнаружено по 23 особи тли, на 10 растениях — по 24 особи и на одном растении — 25 особей тли. При обследовании сорта «Орловчанин» на двух растениях было обнаружено по 18 особей тли, на одном растении — 19 особей, на девяти растениях — по 20 тлей, на 11 растениях — по 21 особи и на трёх растениях — по 22 особи тли. Необходимо вычислить основные статистические оценки по каждой из выборок: выборочную среднюю ($\bar{x}$), выборочную дисперсию (S^2), стандартное отклонение (S), коэффициент вариации (V), ошибку выборочной средней

($S_{\bar{x}}$), относительную ошибку выборочной средней (%) — и определить доверительный интервал для генеральной средней ($\bar{x}$).

**В р и н т 1: н лиз выборки сорт «Вега»
с помощью к алькулятор**

1. Составить расчётную таблицу для статистической обработки материала (табл. 5.1). В математике для обозначения суммы каких-либо однородных элементов для краткости записи обычно используют знак Σ . Например, сумму элементов x с индексами от 1 до n можно обозначить так:

$$x_1 + x_2 + x_3 + \dots + x_n$$

или так:

$$\sum_{i=1}^n x_i, \text{ или упрощённо: } \Sigma x.$$

Таблица 5.1

Подсчёт статистических показателей выборки сорта «Вега»

x	f	fx	x^2	fx^2
1	2	3	4	5
23	15	345	529	7935
24	10	240	576	5760
25	1	25	625	625
Σ	—	610	—	14 320

2. Заполнить столбцы таблицы: первый (значение варианты), второй (частота варианты) и третий. Определить объём выборки:

$$n = \Sigma f = 26.$$

Вычислить выборочную среднюю, учитывая, что частоты вариант признака в выборке повторяются (f больше 1):

$$\bar{x} = \frac{\Sigma fx}{n} = \frac{610}{26} = 23,46.$$

3. Заполнить четвёртый и пятый столбцы таблицы и вычислить выборочную дисперсию по преобразованной формуле:

$$S^2 = \frac{\Sigma f(x - \bar{x})^2}{n - 1} = \frac{\Sigma fx^2 - (\Sigma fx)\bar{x}}{n - 1} = \frac{14\,320 - 610 \cdot 23,46}{26 - 1} = 0,376.$$

4. Вычислить стандартное отклонение: $S = \sqrt{S^2} = \sqrt{0,376} = 0,613$.

5. Вычислить коэффициент вариации: $V = \frac{S}{\bar{x}} \cdot 100\% = \frac{0,613}{23,46} \cdot 100\% = 2,61\%$.

6. Вычислить ошибку выборочной средней: $S_{\bar{x}} = \frac{S}{\sqrt{n}} = \frac{0,613}{\sqrt{26}} = 0,12\%$.

С учётом ошибки генеральная средняя ($\bar{x}_r$) составляет $23,46 \pm 0,12$.

7. Вычислить относительную ошибку выборочной средней:

$$S_{\bar{x}\%} = \frac{S_{\bar{x}}}{\bar{x}} \cdot 100\% = \frac{0,12}{23,46} \cdot 100\% = 0,51\%.$$

8. Определить доверительный интервал для генеральной средней при 5%-м уровне значимости, который соответствует 95%-му уровню доверительной вероятности:

$$\bar{x} - t_{05}S_{\bar{x}} \leq \bar{x}_r \leq \bar{x} + t_{05}S_{\bar{x}}.$$

Разность объёма выборки и единицы составляет:

$$v = n - 1 = 26 - 1 = 25.$$

Значение критерия Стьюдента t_{05} , которое соответствует заданному уровню значимости и имеющемуся объёму выборки, равно 2,06 (см. Приложение 1). Следовательно:

$$23,46 - 2,06 \cdot 0,12 \leq \bar{x}_r \leq 23,46 + 2,06 \cdot 0,12, \\ 23,21 \leq \bar{x}_r \leq 23,71^1.$$

В ри нт 2: н лиз выборок сорт «Вег » и сорт «Орловч нин» с помощью компьютер

В широко используемых редакторах электронных таблиц, как правило, заложена возможность расчёта наиболее часто применяемых статистических оценок. Для использования этой возможности необходимо создать электронную таблицу с исходными данными (рис. 5.13) и правильно выбрать и вставить нужные формулы в ячейки таблицы.

¹ Вычисление доверительного интервала при 1%-м уровне значимости (соответствует 99%-му уровню доверительной вероятности) проводят аналогичным образом.

Поражённость растений гороха тлей			
	Число особей тли на растении		
1	2	3	4
5	6	7	8
9	24	20	
10	23	21	
11	24	21	
12	23	20	
13	23	21	
14	23	18	
15	23	20	
16	24	20	
17	24	22	
18	23	22	

Рис. 5.13

Фрагмент заполненной исходной таблицы



а

б

Рис. 5.14

Подсчёт выборочной средней (диалоговое окно «Мастера функций»): а — выбор категории «Статистические» и функции для вычисления выборочной средней; б — указание области данных для вычисления выборочной средней (ячейки В4—В29) в активном поле окна

Набор статистических оценок одинаков для обеих выборок, поэтому следует сначала провести статистическую обработку данных по одному из сортов, а затем использовать готовый набор формул для другой выборки. Можно начать с сорта «Вега».

	А	В
22	19	24
23	20	23
24	21	23
25	22	24
26	23	23
27	24	24
28	25	23
29	26	24
30	Выборочная средняя	23,46
31	Выборочная дисперсия	0,34
32	Стандартное отклонение	0,58

Рис. 5.15

Фрагмент таблицы (показаны ячейки с округлёнными до двух знаков значениями выборочной средней, выборочной дисперсии и стандартного отклонения)

Функции для подсчёта статистических оценок следует поместить в ячейки столбца **В** ниже таблицы исходных данных. Для этого нужно установить курсор в ячейку **В30**, вызвать диалоговое окно **Мастера функций** (см. 5.2), выбрать категорию **Статистические** и функцию для вычисления *выборочной средней* (рис. 5.14, а). Она обозначена **СРЗНАЧ** (AVERAGE).

После нажатия кнопки **ОК** в новом диалоговом окне **Мастера функций** в активном поле **Число 1** нужно указать область данных для вычислений — **[В4:В29]**. В неактивном поле диалогового окна внизу слева от кнопки **ОК** появится значение выборочной средней (рис. 5.14, б). В ячейку **А30** следует вписать название функции (например, «Выборочная средняя»).

По этой схеме нужно последовательно рассчитать выборочную дисперсию и стандартное отклонение, поместив соответствующие формулы в ячейках ниже (рис. 5.15). Внимание! При добавлении каждой следующей формулы **Мастер функций** будет предлагать область данных по умолчанию, поэтому нужно следить, чтобы интервал подсчёта оставался одним и тем же — **[B4:B29]**.

Функция *выборочной дисперсии* обозначена ДИСП, функция *стандартного отклонения* — СТАНДОТКЛОН.

Формула для вычисления *коэффициента вариации* включает адреса ячеек со значениями стандартного отклонения (**B32**) и выборочной средней (**B30**). Она имеет вид: $[(B32/B30)*100]$ (рис. 5.16, а).

Аналогично составляют формулы для вычисления *ошибки выборочной средней*: $[B32/(КОРЕНЬ(26))]$ или $[B32/(SQRT(26))]$ — и *относительной ошибки выборочной средней* (рис. 5.16, б): $[(B34/B30)*100]$.

Границы *доверительного интервала* для генеральной средней определяют, исходя из неравенства, в котором левая и правая части содержат произведение табличного (теоретического) значения критерия Стьюдента (t) и ошибки выборочной средней ($S_{\bar{x}}$). Значение критерия Стьюдента при 5%-м уровне значимости (t_{05}) равно 2,06 (см. с. 221). Формула для подсчёта произведения $t_{05} \cdot S_{\bar{x}}$ имеет вид: $[2,06*B34]$. Ее следует разместить в ячейке **B36**. Формула

	A	B	C
23		20	23
24		21	23
25		22	24
26		23	23
27		24	24
28		25	23
29		26	24
30	Выборочная средняя		23,46
31	Выборочная дисперсия		0,34
32	Стандартное отклонение		0,58
33	Коэффициент вариации		$=(B32/B30)*100$

а

	A	B	C
27		24	24
28		25	23
29		26	24
30	Выборочная средняя		23,46
31	Выборочная дисперсия		0,34
32	Стандартное отклонение		0,58
33	Коэффициент вариации		2,46
34	Ошибка выборочной средней		0,11
35	Относительная ошибка выборочной средней		$=(B34/B30)*100$

б

Рис. 5.16

Подсчёт коэффициента вариации (а) и относительной ошибки выборочной средней (б)

	26	24	20
Выборочная средняя		23,46	
Выборочная дисперсия		0,34	
Стандартное отклонение		0,58	
Коэффициент вариации		2,48	
Ошибка выборочной средней		0,11	
Относительная ошибка выборочной средней		0,49	
Нижняя граница доверит. интервала		23,23	
Верхняя граница доверит. интервала		=B30+B36	

а

	26	24	20
Выборочная средняя		23,46	
Выборочная дисперсия		0,34	
Стандартное отклонение		0,58	
Коэффициент вариации		2,48	
Ошибка выборочной средней		0,11	
Относительная ошибка выборочной средней		0,49	
Нижняя граница доверит. интервала		23,23	
Верхняя граница доверит. интервала		23,70	

б

Рис. 5.17

Завершающий этап подсчёта статистических оценок: а — по выборке сорта «Вега»; б, в — автоматический подсчёт статистических оценок для сорта «Орловчанин» путём переноса формул в ячейки соседнего столбца

	26	24	20
Выборочная средняя		23,46	20,46
Выборочная дисперсия		0,34	1,26
Стандартное отклонение		0,58	1,03
Коэффициент вариации		2,48	5,03
Ошибка выборочной средней		0,11	0,20
Относительная ошибка выборочной средней		0,49	0,98
Нижняя граница доверит. интервала		23,23	20,06
Верхняя граница доверит. интервала		23,70	20,88

в

для вычисления нижней границы доверительного интервала: $[=B30-B36]$. Верхнюю границу определяют по формуле $[=B30+B36]$ (рис. 5.17, а). Для того чтобы провести статистическую обработку данных выборки сорта «Орловчанин», нужно выделить ячейки с **B30** по **B38**, содержащие формулы статистических оценок. Подвести курсор к нижнему правому углу выделенной области. Как только курсор примет вид крестика, нажать левую кнопку мыши и, удерживая её, «растянуть» выделенную область формул на ячейки **C30—C38** (рис. 5.17, б). В них появятся значения статистических оценок для второго сорта (рис. 5.17, в).



Выводы статистического анализа

Для сорта «Вега»

- ↳ Среднее число тлей на одном растении составляет $23,46 \pm 0,12$ особи ($23,46 \pm 0,11$ при подсчёте с помощью компьютера) и с вероятностью 95% находится в интервале 23,21—23,71 особи ($23,23$ — $23,70$ при подсчёте с помощью компьютера).
- ↳ Изменчивость признака незначительная, так как коэффициент вариации равен 2,61% (2,48% при подсчёте с помощью компьютера), т. е. не превышает 10%.
- ↳ Результаты опыта вполне достоверны, так как относительная ошибка выборочной средней равна 0,51% (0,49% при подсчёте с помощью компьютера), т. е. не превышает 5%.

Для сорта «Орловчанин»

- ↳ Среднее число тлей на одном растении составляет $20,46 \pm 0,20$ особи и с вероятностью 95% находится в интервале 20,05—20,88 особи.
- ↳ Изменчивость признака незначительная, так как коэффициент вариации равен 5,03%, т. е. не превышает 10%.
- ↳ Результаты опыта вполне достоверны, так как относительная ошибка выборочной средней равна 0,99%, т. е. не превышает 5%.



ЗАДАНИЯ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОГО ВЫПОЛНЕНИЯ

1. Исследовали плодовитость плодовой мушки-дрозофилы. В пяти вариантах опыта были получены следующие результаты: 112, 107, 95, 105, 89 яиц на одну самку в сутки. Вычислите основные статистические оценки.
2. Изучали число зубчиков на центральной листовой пластинке земляники садовой. Обследовали 100 листьев и получили следующие результаты: на одном листе было обнаружено 10 зубчиков, на пяти листьях — по 11 зубчиков, на 11 листьях — по 12 зубчиков, на 21 листе — по 13 зубчиков, на 23 листьях — по 14 зубчиков, на 15 листьях — по 15 зубчиков, на девяти листьях — по 16 зубчиков, на семи листьях — по 17 зубчиков, на четырёх листьях — по 18 зубчиков, на трёх листьях — по 19 зубчиков, на одном листе — 20 зубчиков. Вычислите основные статистические оценки.
3. Определяли массу гусениц капустной белянки и получили следующие результаты.



№ гусеницы	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Масса, мг	510	450	470	160	260	420	350	380	280	220	160	290	230	240	220

Определите основные статистические оценки.

- На 15 пробных площадках размером 1 м² подсчитали население подмаренника мягкого (*Galium mollugo*) и получили следующие данные по числу особей на одной площадке: 7, 12, 11, 4, 13, 11, 12, 13, 14, 19, 16, 10, 11, 12, 13. На основании статистической обработки данных выборки сделайте вывод о том, какому типу пространственного распределения соответствует эта популяция (см. теоретические пояснения в 3.2, а практические рекомендации — в 7.4).

- Анализировали активность жизнедеятельности почвенных микроорганизмов в образцах почвы и получили следующие результаты.

№ образца	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Активность, %	69,8	54,1	56	48,1	63,5	59,1	47,3	48,4	52,5	20,7

Определите основные статистические оценки.

- Учитывали тлей на пшенице и получили следующие результаты.

№ листа	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Число тлей	21	30	2	40	45	150	80	35	69	0	56	65	74	58	92	100	108	89	95	82

Определите основные статистические оценки.

5.4. Вычисление статистических показателей качественной изменчивости

Исследовали пшеницу на заражённость грибковым заболеванием — ржавчиной. Из 500 изученных растений 150 оказались поражены болезнью, остальные — здоровые. Данная выборка — пример альтернативной качественной изменчивости, когда признак принимает два противоположных значения: «здоровое растение» — «больное растение». Необходимо вычислить основные статистические оценки: показатель изменчивости качественного признака (S_b), коэффициент вариации качественного признака (V_p), ошибку выборочной доли (S_p) и доверительный интервал для каждой генеральной доли признака.

В р и н т 1: н лиз выборки с помощью к лькулятор

1. Подсчитать доли признака (p_1 и p_2) в выборке. Для этого сначала определить частоты вариант признака. Число больных растений (частота первой варианты — f_1) составляет 150, а число здоровых растений (частота второй варианты — f_2) равно 350.

Тогда

$$p_1 = \frac{f_1}{n} = \frac{150}{500} = 0,3.$$

Так как сумма долей равна единице, то

$$p_2 = 1 - p_1 = 1 - 0,3 = 0,7.$$

2. Вычислить показатель изменчивости качественного признака:

$$S_b = \sqrt{p_1 \cdot p_2} = \sqrt{0,3 \cdot 0,7} = 0,46.$$

3. Вычислить коэффициент вариации качественного признака:

$$V_p = \frac{S_b}{S_{\max}} \cdot 100\% = \frac{0,46}{0,5} \cdot 100\% = 92\%.$$

4. Вычислить ошибку выборочной доли: $S_p = \frac{S_b}{\sqrt{n}} = \frac{0,46}{\sqrt{500}} = 0,02.$

5. Определить доверительные интервалы для генеральных долей при уровне значимости 5%, который соответствует 95%-му уровню доверительной вероятности:

$$p - t_{05}S_p \leq p_r \leq p + t_{05}S_p.$$

Разность объёма выборки и единицы составляет:

$$v = n - 1 = 500 - 1 = 499.$$

Значение критерия Стьюдента, которое соответствует заданному уровню значимости (t_{05}) и имеющемуся объёму выборки, равно 1,96 (см. Приложение 1). Следовательно, для доли больных растений доверительный интервал имеет вид:

$$0,3 - 1,96 \cdot 0,02 \leq p_{r_1} \leq 0,3 + 1,96 \cdot 0,02,$$

$$0,26 \leq p_{r_1} \leq 0,34;$$

для доли здоровых растений интервал имеет вид:

$$0,7 - 1,96 \cdot 0,02 \leq p_{r_2} \leq 0,7 + 1,96 \cdot 0,02,$$

$$0,66 \leq p_{r_2} \leq 0,74^1.$$

¹ Вычисление доверительного интервала при 1%-м уровне значимости (соответствует 99%-му уровню доверительной вероятности) проводят аналогичным образом.

В р и н т 2: н лиз выборки с помощью компьютер

Сначала нужно занести в электронную таблицу начальные данные: *объём выборки и число больных растений*. Затем определить *доли признака* в выборке. Долю больных растений вычисляют по формуле $[=B3/B2]$, долю здоровых растений — по формуле $[=1-B4]$ (рис. 5.18).

	A	B	C
1	Зараженность пшеницы ржавчиной		
2	Объем выборки	500	
3	Число больных растений	150	
4	Доля больных растений	$=B3/B2$	
5	Доля здоровых растений	$=1-B4$	

а

	A	B	C
1	Зараженность пшеницы ржавчиной		
2	Объем выборки	500	
3	Число больных растений	150	
4	Доля больных растений	0.3	
5	Доля здоровых растений	$=1-B4$	

б

Рис. 5.18

Создание формул для расчёта доли больных (а) и здоровых (б) растений

Затем вычисляют *показатель изменчивости качественного признака* по формуле $[=\text{КОРЕНЬ}(B4*B5)]$ или $[=\text{SQRT}(B4*B5)]$, *коэффициент вариации качественного признака* — по формуле $[(B6/0,5)*100]$ и *ошибку выборочной доли* — по формуле $[=B6/\text{КОРЕНЬ}(B2)]$ или $[=B6/\text{SQRT}(B2)]$ (рис. 5.19, а, б).

Доверительные интервалы для генеральных долей определяют при уровне значимости 5%. Сначала вычисляют произведение табличного значения t -критерия ($t_{05} = 1,96$; см. с. 227) и ошибки выборочной доли по формуле $[=1,96*B8]$ (рис. 5.19, в). Затем определяют нижнюю и верхнюю границы доверительного интервала для доли больных растений по формулам $[=B4-B9]$ и $[=B4+B9]$ соответственно (рис. 5.19, г). Аналогичным образом определяют границы доверительного интервала для доли здоровых растений (рис. 5.19, д).

Выводы статистического анализа

- ↳ Доля поражённых ржавчиной растений с вероятностью 95% составляет 0,26—0,34 (26—34%) от общего объёма посадок.
- ↳ Доля здоровых растений с вероятностью 95% составляет 0,66—0,74 (66—74%) от общего объёма посадок.
- ↳ Изменчивость признака значительная, так как коэффициент вариации равен 92%, т. е. превышает 20%.



Зараженность пшеницы ржавчиной

Объем выборки	500
Число больных растений	150
Доля больных растений	0,3
Доля здоровых растений	0,7
Показатель изменчивости	
числе признака	0,48
Коэффициент вариации чисел признака	$\sqrt{0,5 \cdot 0,5}$

а

Зараженность пшеницы ржавчиной

Объем выборки	500
Число больных растений	150
Доля больных растений	0,3
Доля здоровых растений	0,7
Показатель изменчивости	
числе признака	0,48
Коэффициент вариации чисел признака	0,5
ошибка выборочной доли	$\sqrt{0,3 \cdot 0,7}$

б

Зараженность пшеницы ржавчиной

Объем выборки	500
Число больных растений	150
Доля больных растений	0,3
Доля здоровых растений	0,7
Показатель изменчивости	
числе признака	0,48
Коэффициент вариации чисел признака	0,5
ошибка выборочной доли	0,02
граница доверит. интервала для доли больных растений	$\pm 0,02$

в

Зараженность пшеницы ржавчиной

Доля больных растений	0,3
Доля здоровых растений	0,7
Показатель изменчивости	
числе признака	0,48
Коэффициент вариации чисел признака	0,5
ошибка выборочной доли	0,02
граница доверит. интервала для доли больных растений	$\pm 0,02$

г

Зараженность пшеницы ржавчиной

Нижняя граница доверит. интервала для доли больных растений	0,28
Верхняя граница доверит. интервала для доли больных растений	0,32
Нижняя граница доверит. интервала для доли здоровых растений	0,68
Верхняя граница доверит. интервала для доли здоровых растений	$\pm 0,02$

д

Рис. 5.19

Подсчёт статистических оценок качественной изменчивости:
 а — введение формулы для расчёта коэффициента вариации качественного признака;
 б — введение формулы для расчёта ошибки выборочной доли;
 в, г, д — этапы вычисления границ доверительных интервалов для генеральных долей признака



ЗАДАНИЯ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОГО ВЫПОЛНЕНИЯ

1. При обследовании овса на всхожесть из 50 семян пять не дали проростков, остальные проросли. Вычислите основные статистические оценки.
2. При обследовании лесопарка из 300 деревьев лиственных пород 45 оказались поражены стволовым вредителем. Вычислите основные статистические оценки.
3. После проведения прививания против гриппа из 1000 человек заболели 48. Вычислите основные статистические оценки.
4. При обследовании злаков на поражённость различными заболеваниями из 500 растений 150 оказались заражены ржавчиной, а 80 — мучнистой росой, остальные были здоровы. Вычислите основные статистические оценки.
5. В пищу личинок плодовой мушки-дрозофилы добавили противогрибковый лекарственный препарат. При обследовании взрослых мух получили следующие результаты: 24 мухи имели недоразвитые крылья, 180 мух имели недоразвитые глаза, 96 мух были нормальными. Вычислите основные статистические оценки.

5.5. Сравнение двух выборок по критерию Стьюдента

Необходимо сравнить восприимчивость двух сортов гороха («Вега» и «Орловчанин») к тле. Обследовали по 26 растений каждого сорта (см. 5.3). Выборочная средняя для сорта «Вега» с учётом ошибки ($\bar{x}_1 \pm S_{\bar{x}_1}$) составила $23,46 \pm 0,12$ особи тли на одно растение ($23,46 \pm 0,11$ при подсчёте с помощью компьютера). Выборочная средняя для сорта «Орловчанин» с учётом ошибки ($\bar{x}_2 \pm S_{\bar{x}_2}$) равна $20,46 \pm 0,20$ особи на одно растение.

Вариант 1: вычисление t -критерия и проверка статистической гипотезы с помощью калькулятора

1. Вычислить разность выборочных средних:

$$d = \bar{x}_1 - \bar{x}_2 = 23,46 - 20,46 = 3.$$

2. Определить ошибку разности выборочных средних:

$$S_d = \sqrt{S_{\bar{x}_1}^2 + S_{\bar{x}_2}^2} = \sqrt{0,12^2 + 0,20^2} = 0,23,$$

где $S_{\bar{x}_1}$ и $S_{\bar{x}_2}$ — ошибки выборочных средних.

3. Оценить разность выборочных средних по t -критерию. Для этого вычислить выборочное значение критерия Стьюдента (t_b):

$$t_b = \frac{d}{S_d} = \frac{3}{0,23} = 13,04.$$

По справочной таблице определить теоретическое значение критерия Стьюдента при имеющемся общем числе обследованных объектов:

$$v = n_1 + n_2 - 2 = 26 + 26 - 2 = 50$$

и выбранных уровнях значимости ($Q = 0,05$ и $Q = 0,01$):

$$t_{05} = 2,01; t_{01} = 2,68.$$

Сравнить t_b с t_{05} и t_{01} :

- ↳ при 5%-м уровне значимости выборочное значение t -критерия больше теоретического: $13,04 > 2,01$;
- ↳ при 1%-м уровне значимости выборочное значение t -критерия больше теоретического: $13,04 > 2,68$.

В р и н т 2: вычисление t -критерия и проверка статистической гипотезы с помощью компьютера

Для вычислений можно использовать данные заполненной электронной таблицы из 5.3, вариант 2.

1. Определить *разность выборочных средних* по формуле [=B30-C30] (рис. 5.20, а).

	A	B	
22	22	24	19
23	23	23	20
24	24	24	21
25	25	23	21
26	26	24	20
Выборочная средняя	23.46	20.46	
Стандартное отклонение выборочной средней	0.11	0.20	
Разность выборочных средних	[=B30-C30]		

а

	A	B	
25	25	23	21
26	26	24	20
Выборочная средняя	23.46	20.46	
Стандартное отклонение выборочной средней	0.11	0.20	
Разность выборочных средних	3.00		
Стандартное отклонение разности выборочных средних	0.23		
Выборочное значение t-критерия	[=B38/B40]		

б

Рис. 5.20

Введение в ячейки таблицы (строки 31–33 и 35–38 скрыты) формул для вычисления: а — разности выборочных средних; б — выборочного значения критерия Стьюдента

2. Определить *ошибку разности выборочных средних* по следующей формуле $[=\text{КОРЕНЬ}(\text{B34}*\text{B34}+\text{C34}*\text{C34})]$ или $[=\text{SQRT}(\text{B34}*\text{B34}+\text{C34}*\text{C34})]$.

3. Оценить разность выборочных средних по t -критерию при 5%-м и 1%-м уровнях значимости. Для этого вычислить *выборочное значение* критерия Стьюдента (t_b) по формуле $[=\text{B39}/\text{B40}]$ (рис. 5.20, б).

Табличные значения t -критерия при 5%-м и 1%-м уровнях значимости составляют 2,01 и 2,68 соответственно (см. с. 231). Полученное выборочное значение t -критерия ($t_b = 12,94$) больше теоретических значений.

Выводы статистического анализа

Заселённость тлями растений сорта «Вега» существенно выше, чем растений сорта «Орловчанин», так как $\bar{x}_1 > \bar{x}_2$ и по t -критерию разность средних значений двух выборок существенная и при 5%-м, и 1%-м уровнях значимости (соответственно при 95%-м и 99%-м уровнях вероятности). Значит, с вероятностью 99% сорт «Орловчанин» более устойчив к поражению тлёй.



ЗАДАНИЯ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОГО ВЫПОЛНЕНИЯ

1. Для защиты огурцов в теплицах применяли химическую обработку и обработку хищником-энтомофагом. Провели по 10 повторностей. В первом случае был получен урожай $18,8 \pm 0,5 \text{ кг/м}^2$, во втором случае — $21,1 \pm 0,5 \text{ кг/м}^2$. Сравните выборки и определите, существенны ли различия.
2. Здоровое зерно пшеницы сорта «Лютесценс» содержит $48,9 \pm 0,5\%$ крахмала, при поражении стеблевой ржавчиной — $46,8 \pm 0,3\%$. Повторность десятикратная. Сравните выборки и определите, существенно ли влияние болезни на содержание крахмала.
3. При обследовании чёрной смородины на поражённость мучнистой росой доля больных растений сорта «Чайка» составила $79,0 \pm 0,3\%$, а доля больных растений сорта «Ленинградский великан» — $81,0 \pm 0,8\%$. Повторность десятикратная. Проведите сравнительный анализ выборок и определите, существенны ли различия между ними.
4. Необходимо определить эффективность обработки посадок капусты химическим препаратом для защиты от капустной моли. При обработке полосы шириной 60 м смертность гусениц составила $97,4 \pm 0,8\%$, а полосы шириной 30 м — $93,7 \pm 0,6\%$. Повторность четырёхкратная. Сравните выборки и определите, существенны ли различия между ними.



5. При содержании самок красного плодового клеща на яблоне сорта «Боровинка» их средняя плодовитость составила $28,0 \pm 1,2$ яйца в кладке, на сорте «Грушовка московская» — $23,7 \pm 1,2$ яйца в кладке. Повторность опыта десятикратная. Сравните выборки и определите, существенны ли различия между ними.

5.6. Выявление корреляционных зависимостей

Необходимо определить зависимость урожайности капусты (переменная Y) от численности капустной тли (переменная X) по данным, полученным в ходе исследования.

X	Численность тли, балл	1,0	1,5	2,0	2,3	2,8	3,0	3,6	4,0	4,5	5,0
Y	Масса кочана, % по отношению к контролю	100,0	98,6	85,4	86,1	60,0	53,9	45,2	36,1	24,5	20,8

В р и н т 1: вычисление коэффициент корреляции с помощью к алькулятор

Для удобства вычисления коэффициента корреляции его формулу (см. дополнительные сведения к 1.4) преобразуют:

$$r_{xy} = \frac{\sum(x - \bar{x}) \cdot \sum(y - \bar{y})}{S_x \cdot S_y} = \frac{A}{B \cdot C}, \text{ где}$$

$$A = \sum xy - \frac{\sum x \cdot \sum y}{n}, \quad B = \sum x^2 - \frac{(\sum x)^2}{n}, \quad C = \sum y^2 - \frac{(\sum y)^2}{n}.$$

1. Составить расчётную таблицу (табл. 5.2).

Таблица 5.2

Таблица корреляционного анализа

№ пары xy	x	y	x^2	y^2	xy
1	1,0	100,0	1,0	10 000	100,0
2	1,5	98,6	2,25	9722,0	117,9
3	2,0	85,4	4,0	7293,2	170,8
4	2,3	86,1	5,3	7413,2	193,0

Окончание табл. 5.2

№ пары xy	x	y	x^2	y^2	xy
5	2,8	60,0	7,8	3600,0	168,0
6	3,0	53,9	9,0	2905,2	167,7
7	3,6	45,2	13,0	2043,0	162,7
8	4,0	36,1	16,0	1303,2	144,4
9	4,5	24,5	20,3	600,3	110,3
10	5,0	20,8	25,0	432,6	104,0
Σ	—	29,7	610,6	103,6	45 312,7
					1467

2. Провести промежуточные расчёты.

$$A = \sum xy - \frac{\sum x \cdot \sum y}{n} = 1467 - \frac{29,7 \cdot 610,6}{10} = -346,48,$$

$$B = \sum x^2 - \frac{(\sum x)^2}{n} = 103,6 - \frac{29,7^2}{10} = 15,39,$$

$$C = \sum y^2 - \frac{(\sum y)^2}{n} = 45\,312,7 - \frac{610,6^2}{10} = 8029,46.$$

3. Вычислить коэффициент корреляции.

$$r_{xy} = \frac{A}{B \cdot C} = \frac{-346,48}{\sqrt{15,39 \cdot 8029,46}} = -0,99.$$

В р и н т 2: вычисление коэффициент корреляции с помощью компьютер

1. Создать рабочую таблицу (рис. 5.21, а).

2. Поместить в ячейку **B13** формулу для вычисления *коэффициента корреляции*. Для этого вызвать диалоговое окно **Мастера функций** (см. 5.2) и выбрать в категории **Статистические** функцию **КОРРЕЛ**. В новом диалоговом окне задать области данных (адреса ячеек), для которых нужно вычислить коэффициент корреляции (рис. 5.21, б). В строке **Массив1** указать интервал **B3:B12** (численность тли), в строке **Массив2** — интервал **C3:C12** (масса ко- чана).

Для наглядного представления обнаруженной зависимости можно построить диаграмму. Для этого надо выделить ячейки со значениями переменных (**B3—**

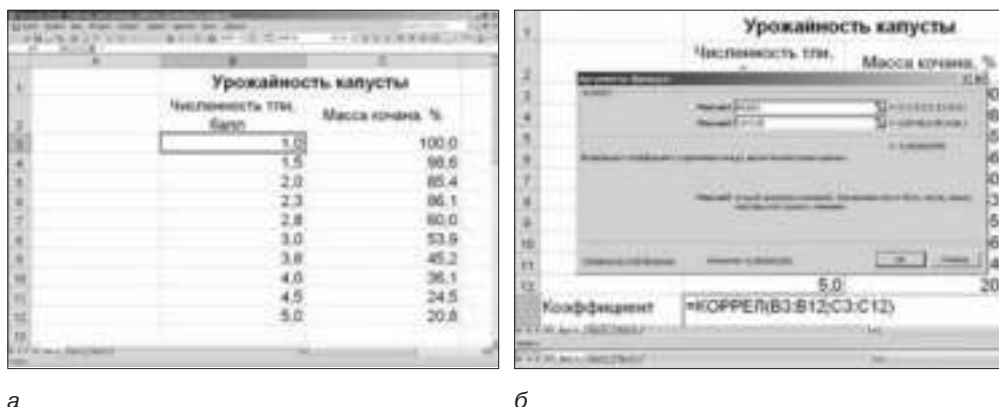


Рис. 5.21

Этапы корреляционного анализа: а — исходные данные; б — назначение областей данных для подсчёта коэффициента корреляции в диалоговом окне «Мастера функций»

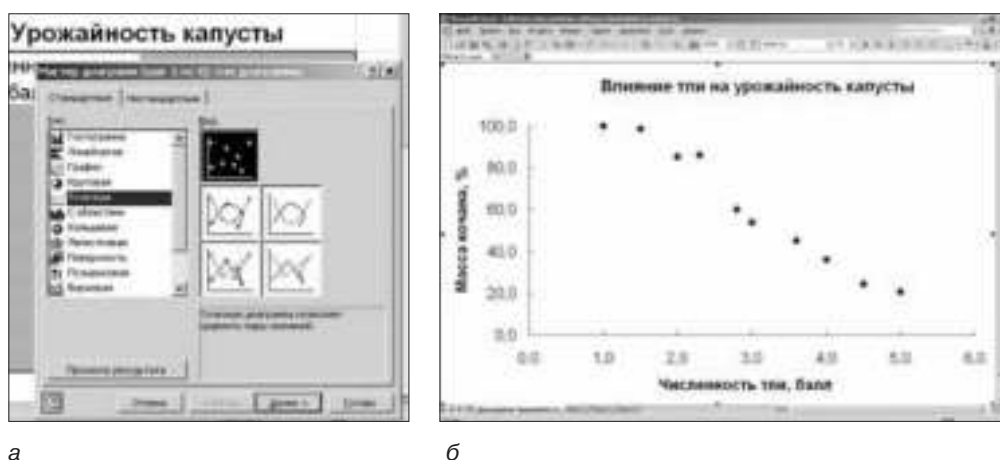


Рис. 5.22

Построение диаграммы, отражающей корреляционную зависимость урожайности капусты от поражённости тлёй: а — диалоговое окно «Мастера диаграмм» (выбран тип диаграммы «Точечная»); б — результат построения диаграммы

B12 и C3—C12) и вызвать диалоговое окно **Мастера диаграмм** (см. 5.2). Следует выбрать точечный тип диаграммы (рис. 5.22, а). Готовую диаграмму желательно разместить на отдельном листе (рис. 5.22, б).



Выводы статистического анализа

В результате корреляционного анализа выявлена сильная обратная зависимость урожайности капусты от количества капустной тли на растениях — коэффициент корреляции равен $-0,99$ ($-0,98$ при подсчёте с помощью компьютера).



ЗАДАНИЯ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОГО ВЫПОЛНЕНИЯ

- Оцените зависимость между размерами тела и плодовитостью самок еловой ложнощитовки, исходя из следующих данных.

№ варианты	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Размер тела самки, мм	5	11	15	18	21	24	27	30	32	39	42
Плодовитость самки, кол-во яиц	75	110	150	200	240	290	350	390	410	440	460

- Оцените зависимость между средней численностью зелёной яблонной тли на одном листе и средним количеством листьев на сеянцах яблони (в пересчёте на одно растение).

№ варианты	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Число особей тли	0	0,5	1,5	2,5	3,8	4,2	5,0	8,1	10,5	20,8
Число листьев	28	23	27	25	21	20	20	18	17	5

- Оцените зависимость между среднемесячными температурами за май — август в Карагандинской области и продолжительностью развития жука — итальянского пруса.

№ варианты	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Среднемесячная температура, °C	14,9	15,0	15,6	16,0	17,1	18,9	18,0	19,1	19,8	20,3
Продолжительность развития, сутки	78	75	68	64	57	48	52	47	45	42



4. Оцените зависимость поражённости льна фузариозом (болезнью, вызываемой паразитическим грибом рода *Fusarium*) от продолжительности периода между посевами на одном поле.

№ варианты	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Период между посевами, лет	1	2	2	3	3	4	5	6	6	7
Заражённость, %	88	76	70	45	62	45	28	9	12	5

5. Оцените зависимость между весом тела дальневосточной полёвки и длительностью её выживания после обработки химическим препаратом бактериодецидом.

№ варианты	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Масса тела, г	58	58,5	58	60	60	68	72	74	88	93	108	116	123
Длительность выживания, сутки	7	4	6	5	7	4	9	6	4	4	3	6	4

Компьютерное моделирование

6.1. Построение кривой экспоненциального роста численности популяции

П р метры и у р внение модели

При условии отсутствия хищников и наличия неограниченного количества пищи уравнение для построения модели экспоненциального роста имеет вид:

$$N_2 = (b - d)N_1 + N_1,$$

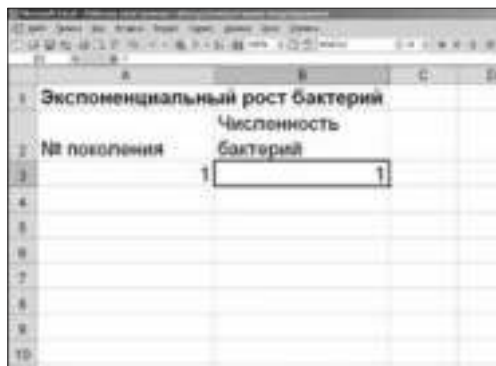
где N_1 — численность родительского поколения, b — коэффициент рождаемости, d — коэффициент смертности, N_2 — численность дочернего поколения.

Экспоненциальный рост численности характерен для лабораторных культур бактерий. Значения параметров модели для таких популяций могут быть следующими: $N_1 = 1$; $b = 1$ (в каждом цикле размножения каждая особь оставляет одного потомка); $d = 0,01$ (в течение цикла размножения каждая сотая особь погибает от случайных причин); число поколений — 25.

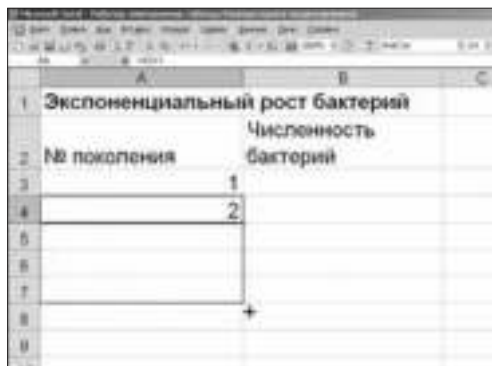
Ход построения

Построение модели начинают с заполнения электронной таблицы (рис. 6.1, а). Понадобятся два столбца: один — для нумерации поколений, другой — для указания численности бактерий. В ячейку **A3** нужно ввести цифру 1 (первое поколение), в **B3** — также 1 (одна материнская особь).

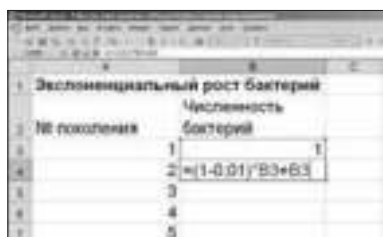
В ячейке **A4** следует набрать формулу [=A3+1], а затем расширить область её применения вниз до ячейки **A27** включительно (всего 25 поколений). Для этого нужно приблизить курсор к правому нижнему углу ячейки. Как только



а



б



в



г

Рис. 6.1

Построение кривой
экспоненциального роста:
а, б, в — этапы построения;
г — готовая кривая

курсор примет вид крестика, нажать левую кнопку мыши и, не отпуская её, выделить нужные ячейки столбца **A** (рис. 6.1, б).

В ячейку **B4** нужно ввести формулу для подсчёта численности дочернего поколения (рис. 6.1, в), т. е. уравнение для построения модели экспоненциального роста: $[(1-0,01)*B3+B3]$. Затем расширить область применения этой формулы вниз до ячейки **B27** включительно.

Следующий шаг — построение диаграммы. Напоминаем: для этого нужно выделить значения, используемые при построении диаграммы, и вызвать диалоговое окно **Мастера диаграмм** (см. 5.2). Следуя его пошаговой инструкции, желательно выбрать обычный график или график с маркерами. Готовую диаграмму следует разместить на отдельном листе (рис. 6.1, г).



ЗАДАНИЯ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОГО ВЫПОЛНЕНИЯ

1. Рассчитайте и отобразите в виде графика рост численности кроличьей семьи в течение года, если известно, что крольчиха приносит в среднем 10 крольчат (пусть среди 10 родившихся крольчат только четыре самки). Крольчиха становится взрослой в возрасте четырёх месяцев и размножается дважды в год.
2. По данным ООН, в 1990 г. население мира составило приблизительно 5 292 000 000 человек. При этом ежедневно рождалось 240 человек, а умирало 120 человек. Какова была бы численность населения Земли в 2000 г. согласно модели экспоненциального роста? По реальным данным на 2000 г., население составило приблизительно 6,4 млрд человек. Какие причины, по вашему мнению, повлияли на результат естественного процесса?

6.2. Построение кривой логистического роста численности популяции

П р метры и у р внение для построения модели

Модель Ферхюльста—Пирла разработана для популяций, рост которых ограничен *биологической ёмкостью среды* (см. 3.3). Как правило, эти виды реализуют *K*-стратегию размножения. Уравнение для построения модели имеет вид:

$$N_2 = (b - d)N_1 \left(\frac{K - N_1}{K} \right) + N_1,$$

где N_1 — численность родительского поколения, b — коэффициент рождаемости, d — коэффициент смертности, N_2 — численность дочернего поколения, K — наибольшее возможное число особей при данной биологической ёмкости среды.

Логистический рост численности можно наблюдать, например, в природной популяции волков, осваивающих новое местообитание. Для этого случая можно задать такие значения параметров модели: $N_1 = 2$; $b = 2$ (пара родителей производит четырёх потомков за один цикл размножения); $d = 0,5$ (каждая вторая особь погибает за один цикл размножения); $K = 1\,000\,000$; число поколений — 50.

Ход построения

Как и в случае модели экспоненциального роста, в таблице для построения логистической кривой нужно задать два столбца («№ поколения»

и «Численность организмов») и заполнить их числовыми данными (см. рис. 6.1, а, б). Данные второго столбца (численность дочерних поколений) нужно рассчитывать по уравнению модели логистической кривой. Поэтому в ячейку В4 необходимо ввести формулу $[(2-0,5)*B3*(1000000-B3)/1000000+B3]$ и расширить область её применения (рис. 6.2, а) до **В52** включительно (всего 50 поколений). Процедура построения диаграммы такая же, как описано в 5.2. Результат построения показан на рисунке 6.2, б.



а



б

Рис. 6.2

Этапы перед построением (а) и после построения (б) кривой логистического роста численности организмов



ЗАДАНИЯ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОГО ВЫПОЛНЕНИЯ

1. Известно, что крольчиха приносит в среднем 10 крольчат (пусть среди 10 родившихся крольчат только четыре самки). Крольчиха становится взрослой в возрасте четырёх месяцев и размножается дважды в год. Максимальное число особей, способных устойчиво существовать в данных условиях, равно 10 000. Через какое время описанная популяция достигнет максимально возможного числа особей?
2. Известно, что каждую минуту на Земле рождается 240 человек, а умирает 120. В 2000 г. население земного шара составляло около 6,4 млрд человек. Ёмкость среды нашей планеты при прогрессивном и грамотном ведении хозяйства, по оценкам ряда учёных, приблизительно

равна 20 млрд человек. Используя модель Ферхюльста—Пирла, попытайтесь спрогнозировать, в каком году должен прекратиться рост населения.

6.3. Построение модели взаимодействия в системе «хищник — жертва»

П р метры и у р внения для построения модели

Модель Лотки — Вольтерра демонстрирует колебания численности во взаимосвязанных популяциях «хищников» и «жертв». Для построения модели используют два уравнения.

$$\text{Для «жертвы»}: N_1 = (b_1 - p_1 M_1) N_1 + N_1;$$

$$\text{для «хищника»}: M_2 = (p_2 N_1 - d_2) M_1 + M_1,$$

где N_1 — численность родительского поколения «жертвы», b_1 — коэффициент рождаемости «жертвы», p_1 — коэффициент хищничества для «жертвы» (см. 3.3), N_2 — численность дочернего поколения «жертвы», M_1 — численность родительского поколения «хищника», p_2 — коэффициент хищничества для «хищника» (см. 3.3), d_2 — коэффициент смертности «хищника», M_2 — численность дочернего поколения «хищника».

Для двух усреднённых популяций значения параметров модели могут быть следующими: $N_1 = 1000$; $b_1 = 0,1$ (в каждый сезон размножения численность популяции «жертвы» увеличивается на 10%); $p_1 = 0,001$ (на протяжении сезона размножения каждый «хищник» истребляет 0,1% популяции «жертвы»); $M_1 = 100$; $p_2 = 0,00005$; $d_2 = 0,05$ (в каждый сезон размножения погибает пять особей «хищника» из 100); число поколений — 150.

Ход построения

Для построения модели в исходной таблице следует задать три столбца: «№ поколения», «Число жертв» и «Число хищников». Начальную численность «жертв» и «хищников» указать в ячейках **B3** и **C3** соответственно. Первый столбец таблицы следует заполнить данными так же, как при построении кривых экспоненциального и логистического роста численности популяции (см. 6.1 и 6.2).

В ячейку **B4** следует ввести формулу для расчёта численности дочернего поколения «жертвы»: $[(0,1-0,001*C3)*B3+B3]$. Затем расширить область применения формулы, выделив ячейки столбца **B** до **B152** включительно (эта процедура подробно описана в 6.1). Тогда можно увидеть, как растёт численность «жертвы» в отсутствие «хищника» (рис. 6.3, б).

а

№ поколения	Жертва	Хищник
1	1000	100
2	1000	
3		
4		
5		
6		
7		
8		
9		
10		
11		
12		

б

№ поколения	Жертва	Хищник
1	1000	100
2	1000	
3	1100	
4	1210	
5	1331	
6		
7		
8	34004	
9	37404	
10	41145	
11	45259	
12	80	1602893
13	81	1862182
14	82	2048400

в

№ поколения	Жертва	Хищник
1	1000	100
2	1000	100
3	1000	100
4	1000	100
5	1000	100
6	1000	100
7	1000	100
8	1000	100
9	1000	100
10	1000	100
11	1000	100
12	1000	100
13	1000	100
14	1000	100

г

№ поколения	Жертва	Хищник
1	1000	50
2	1050	50
3	1103	50
4	1157	50
5	1215	51
6	1275	51
7	1337	52
8	1401	53
9	1467	54
10	1534	55
11	1603	57
12	1673	58
13	1742	60
14	1811	63

Рис. 6.3

Заполнение электронной таблицы: а — расширение области применения формулы из ячейки В4; б — данные столбца В, демонстрирующие увеличение численности «жертвы» в отсутствие «хищника» (строки 8—40 и 45—81 скрыты); в — состояние популяций «хищника» и «жертвы» в равновесной системе; г — состояние популяций при колебаниях численности

Для расчёта численности дочерних поколений «хищника» в ячейку **C4** нужно поместить формулу $[(0,00005*В3-0,05)*С3+С3]$, а затем расширить область её применения до ячейки **C152** включительно.

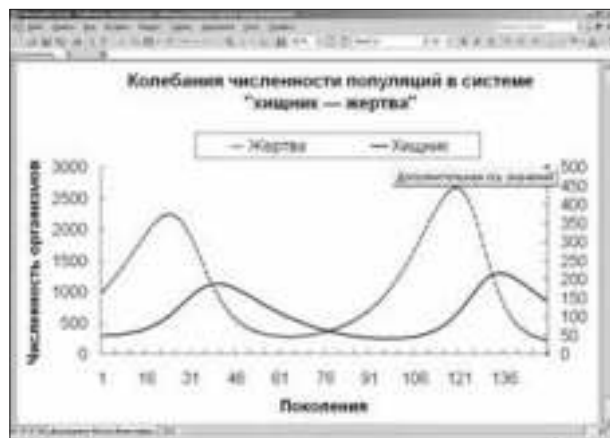
При заданных параметрах численность «хищников» и «жертв» должна оставаться постоянной: в каждом поколении на 1000 особей «жертвы» прихо-

дится 100 особей «хищника» (рис. 6.3, в). Это означает, что популяции находятся в равновесии и колебания численности в системе не происходят. Для того чтобы вывести систему из равновесия, нужно изменить численность родительских поколений (строка 3), например уменьшить число особей первого поколения «хищника» до 50 (рис. 6.3, г).

Далее следует построить диаграмму, выделив ячейки, содержащие данные по численности «хищников» и «жертв», и вызвав окно **Мастера диаграмм** (см. 5.2). Желательно выбрать тип диаграммы «График» или «График с маркерами», а саму диаграмму разместить на отдельном листе (рис. 6.4, а).



а



б

Рис. 6.4

Готовая диаграмма колебаний численности в системе «хищник — жертва»: а — с одной осью ординат; б — с двумя осями ординат (для «жертвы» — слева, для «хищника» — справа)

Чтобы готовая диаграмма стала нагляднее, следует назначить дополнительную ось ординат для популяции «хищника» (рис. 6.4, б). Для этого нужно поместить курсор в поле диаграммы на кривую численности «хищника» и двойным щелчком левой кнопки мыши вызвать диалоговое окно **Формат ряда данных**. На закладке **Ось** отметить галочкой строку **По вспомогательной оси** и нажать кнопку **ОК**.

В поле обновлённой диаграммы расположить курсор на новой оси ординат и дважды щёлкнуть левой кнопкой мыши. В появившемся диалоговом окне **Формат оси** на вкладке **Шкала** подобрать такое максимальное значение по правой вертикальной оси и такую цену основных делений, чтобы колебания численности «хищника» выглядели отчётливо. (На рисунке 6.4, б максимальное значение по правой оси ординат — 500, цена основных делений — 50. Наибольшее значение по левой оси ординат — 3000, а цена основных делений — 500.)



ЗАДАНИЯ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОГО ВЫПОЛНЕНИЯ

1. Попробуйте, изменяя коэффициенты хищничества для «жертвы» и «хищника», а также начальную численность обеих популяций, добиться устойчивых колебаний в модели.
2. Проверьте с помощью модели справедливость закона сохранения средних величин В. Вольтерра: средняя численность популяций обоих видов остаётся постоянной независимо от первоначальной численности до тех пор, пока скорости увеличения и уменьшения популяций, а также интенсивность хищничества постоянны.

6.4. Построение модели, отражающей принцип конкурентного исключения

П р метры и у р внения для построения модели

Эта модель демонстрирует конкурентное вытеснение одного вида другим по правилу Гаузе (см. 3.4). Г. Ф. Гаузе ставил опыты на двух видах инфузорий — *Paramecium aurelia* и *Paramecium caudatum* (см. рис. 3.21 на с. 147). Особи первого вида более мелкие, но более активные, чем особи второго вида.

Для построения модели используют два уравнения, отражающие изменения численности каждого из видов-конкурентов.

$$\text{Для } P. \text{ aurelia: } N_2 = b_1 N_1 \cdot \frac{K_1 - N_1 - \alpha M_1}{K_1} + N_1;$$

для *P. caudatum*: $M_2 = b_2 M_1 \cdot \frac{K_2 - M_1 - \beta N_1}{K_2} + M_1$,

где N_1 — численность родительского поколения *P. aurelia*, b_1 — коэффициент рождаемости *P. aurelia*, N_2 — численность дочернего поколения *P. aurelia*, K_1 — наибольшее возможное число особей *P. aurelia* при имеющейся биологической ёмкости среды, α — коэффициент борьбы за существование для *P. aurelia* (показывает, какое влияние *P. aurelia* оказывает на *P. caudatum*), M_1 — численность родительского поколения *P. caudatum*, b_2 — коэффициент рождаемости *P. caudatum*, M_2 — численность дочернего поколения *P. caudatum*, K_2 — наибольшее возможное число особей *P. caudatum* при имеющейся биологической ёмкости среды, β — коэффициент борьбы за существование для *P. caudatum* (показывает, какое влияние *P. caudatum* оказывает на *P. aurelia*).

Значения параметров модели следующие: в опытах Гаузе $N_1 = M_1 = 5$; $b_1 = 1,12$; $K_1 = 105$; $\alpha = 0,5$; $b_2 = 0,79$; $K_2 = 64$; $\beta = 1$; число поколений — 11.

Ход построения

По аналогии с построениями, описанными в 6.1—6.3, для создания кривых, отражающих принцип конкурентного исключения, нужно сделать следующее. В электронной таблице задать три столбца: первый — «№ поколения», второй — «Численность *P. aurelia*», третий — «Численность *P. caudatum*». Заполнить первый столбец данными, поместив формулу [=A3+1] в ячейку **A4** и расширив область применения этой формулы на ячейки столбца **A** до **A13** включительно (всего 11 поколений). Затем указать в соответствующих столбцах численность родительского поколения каждой из популяций (рис. 6.5, а).

В ячейку **B4** следует ввести формулу для вычисления численности дочернего поколения *P. aurelia*: [=1,12*B3*(105-B3-0,5*C3)/105+B3] и расширить область применения формулы вниз до **B13** включительно (рис. 6.5, б).

Формулу для вычисления численности дочернего поколения *P. caudatum*: [=0,79*C3*(64-C3-1*B3)/64+C3] надо поместить в ячейку **C4** и расширить область применения формулы до ячейки **C13** включительно (рис. 6.5, в). Обратите внимание: данные столбца **B** при этом изменятся, так как популяции *P. aurelia* и *P. caudatum* взаимодействуют.

По данным столбцов **B** и **C** следует построить диаграмму (см. 5.2 и 6.3) и разместить её на отдельном листе (рис. 6.5, г).

Готовый график демонстрирует то, что два вида со сходными требованиями к ресурсам не могут занимать одно местообитание одновременно. Один из них (более конкурентоспособный) обязательно вытеснит другой вид.

Принцип конкурентного исключения

№ поколения	Численность $P. aureus$	Численность $P. caudatus$
1	1	5
2	2	
3	3	
4	4	
5	5	
6	6	
7	7	
8	8	
9	9	
10	10	

а

Принцип конкурентного исключения

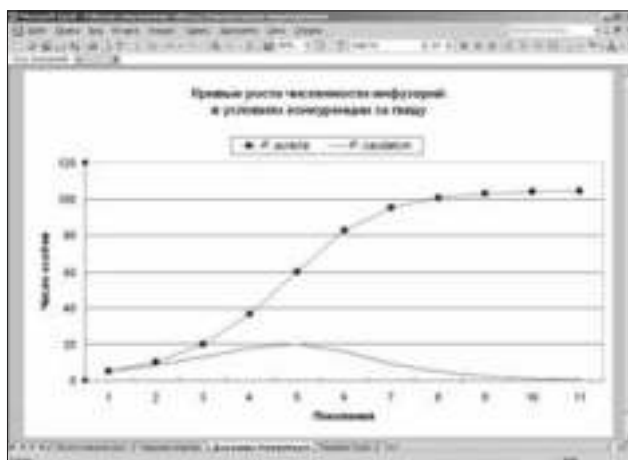
№ поколения	Численность $P. aureus$	Численность $P. caudatus$
1	1	5
2	10	
3	21	
4	39	
5	66	
6	94	
7	105	
8	105	
9	105	
10	105	
11	105	

б

Принцип конкурентного исключения

№ поколения	Численность $P. aureus$	Численность $P. caudatus$
1	1	5
2	10	5
3	21	15
4	37	18
5	60	20
6	82	18
7	95	9
8	100	5
9	103	2
10	104	1
11	104	0

в



г

Рис. 6.5

Этапы построения кривых, отражающих принцип конкурентного исключения



ЗАДАНИЯ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОГО ВЫПОЛНЕНИЯ

Проверьте гипотезу о том, что устойчивые колебания численности двух конкурирующих популяций невозможны, какие бы значения параметров модели ни были заданы.

Биоэкологические исследования

7.1. Объект исследования — плодовая мушка *Drosophila melanogaster*

Общие характеристики объекта

Дрозофила по ряду особенностей является удобным объектом для исследования. Так, она имеет небольшой срок развития от яйца до взрослой мухи (10 дней при 25 °C), высокую плодовитость, большое количество наследственных рас и мутаций, обнаруженных в её культурах в лабораторных условиях. Кроме того, малое число хромосом ($2n = 8$) делают её незаменимым объектом для учебных исследований в области экологической генетики.

Очень широко дрозофилу используют для проведения работ в области аутэкологии (дрозофил содержат в пробирках попарно) и экологии популяций (создают лабораторные популяции в пробирках или популяционных ящиках). При этом изучают действие различных факторов (температуры, влажности, химических веществ, плотности популяции и т. д.) или их сочетаний на такие показатели, как количество яиц в кладке, скорость размножения, гибель на различных стадиях развития, а также на изменчивость морфологических признаков (форму конечностей, крыльев, строение глаз и т. п.).

Дрозофила — довольно изученный объект, на ней поставлено множество экспериментов. Поэтому сведения об этом объекте весьма обширны (см. список литературы в конце параграфа).

Теоретический материал, который поможет понять результаты лабораторных экспериментов и обсудить их, изложен в теоретической части учебного пособия.

Примерные направления исследований

1. Влияние лекарственных препаратов (или других химических веществ) на выживаемость, плодовитость и морфологические признаки дрозофилы (см. 2.1).
2. Влияние температуры на размер яйцекладки, плодовитость, скорость развития дрозофилы (см. 2.3).
3. Формирование температурных адаптаций в условиях длительного содержания дрозофилы при повышенных температурах, например при 29 °С (см. 2.3).
4. Влияние влажности на размер яйцекладки, плодовитость, скорость развития, морфологические признаки дрозофилы (см. 2.4).
5. Влияние количества и качества пищи на размер яйцекладки, плодовитость и скорость развития дрозофилы (см. 3.3, 3.4).
6. Влияние плотности популяции на плодовитость и выживаемость дрозофилы (см. 3.4).
7. Сравнение двух линий дрозофилы по размеру яйцекладки, плодовитости, выживаемости, скорости развития (см. 3.1).

По каждому предложенному направлению можно выполнить несколько полноценных исследовательских работ. Работы, посвящённые изучению влияния плотности популяции и количества пищи на различные показатели состояния дрозофилы, выполняют только в *массовых культурах* (т. е. при совместном содержании большого количества особей). Остальные эксперименты могут быть поставлены как на индивидуальных культурах (в данном случае *индивидуальная культура* представляет собой пару родительских особей, потому что результат опыта оценивают на потомстве), так и на массовых. В последнем случае необходимо свести к минимуму влияние внутривидовой конкуренции за пищу и пространство. Время выполнения эксперимента будет лимитировано продолжительностью жизненного цикла дрозофилы.

Обычно учёт результатов опыта проводят на одном поколении, но возможен анализ результатов на нескольких поколениях. Поэтому при организации работы следует чётко спланировать количество поколений и прибавить дополнительное время (на случай неудачи).

Содержание лабораторной культуры дрозофилы

При разведении лабораторной культуры дрозофилы используют *дрожжевую питательную среду*, в которой достаточно жизненно важных ве-

шеств для полноценного развития личинок. Для временного содержания вылетевших имаго можно использовать *агаро-сахарозную среду*, в которой личинки не развиваются.

Приготовление дрожжевой питательной среды

Состав: на 1 л питательной среды — 10 г агара микробиологического, 33 г манной крупы, 33 г сахара, 33 г сухих дрожжей (или 100 г свежих) и 3 мл пропионовой кислоты.

Способ приготовления следующий. Агар замочить на 12 ч в 0,5 л воды. Пол-литра чистой воды довести до кипения, добавить дрожжи и манную крупу, постоянно помешивая. Кипятить 30 мин. Добавить агар и сахар. Кипятить 30 мин, помешивая. Остужать 5—10 мин и добавить пропионовую кислоту (для дезинфекции питательной среды). Разлить «кашу» с помощью воронки в подготовленные стерильные пробирки или баночки, прикрыть их марлей; после остывания с помощью кисточки смазать поверхность среды раствором, содержащим дрожжи и сахар, — *дрожжевой суспензией* (взвесь дрожжей по консистенции должна напоминать молоко). Готовые пробирки со средой плотно закрыть ватными пробками, а баночки — марлей; излишки «каши» хранить в холодильнике.

Микробиологический агар можно приобрести в любой фирме, продающей химические реактивы; пропионовую кислоту можно не добавлять; среду можно приготовить заранее и хранить в холодильнике.

Приготовление агаро-сахарозной среды

Состав: на 0,5 л среды — 0,5 г агара микробиологического, 33 г сахара.

Способ приготовления следующий. Агар замочить на 12 ч в 0,5 л воды. Довести смесь до кипения, добавить сахар; кипятить 30 мин, помешивая. Остужать 5—10 мин. Разлить среду с помощью воронки в подготовленные стерильные пробирки или баночки, прикрыть их марлей; после остывания с помощью кисточки смазать поверхность среды дрожжевой суспензией (взвесь дрожжей по консистенции должна напоминать молоко). Готовые пробирки со средой плотно закрыть ватными пробками, а баночки — марлей; излишки среды поместить в холодильник. Среду можно приготовить заранее и хранить в холодильнике.

Посуда, её санитарная обработка и хранение

Для разведения дрозофилы удобны плоскодонные пробирки 2—3 см в диаметре и 6—8 см высотой. При необходимости можно использовать химические пробирки, банки из-под майонеза и т. п. В пробирку объёмом 10—15 мл наливают питательную среду на уровень 1—1,5 см (т. е. 1—3 мл).

Бывшие в употреблении пробирки освобождают от пробок и живых мух. Пробирки складывают в ведро или другую ёмкость, заливают водой с небольшим количеством каустической соды или любого стирального порошка и нагревают до кипения. В горячей воде затвердевшая среда растворится, а пробирки будут частично продезинфицированы. Обработанные таким образом пробирки очень легко отмыть ёршиком.

Чистые пробирки два раза ополаскивают в тазах с тёплой водой и просушивают на сетчатых лотках. Просохшие пробирки для окончательной дезинфекции помещают на 1—2 ч в сушильный шкаф при температуре 100—120 °С. Остывшие пробирки складывают на заранее подготовленные лотки.

Все надписи на пробирках делают тушью, маркером или стеклографом.

Техника работы с объектом в ходе экспериментов

Инвентарь для работы с дрозофилой

Баночки и пробирки для поддержания коллекции линий дрозофилы. Вата и марля для изготовления пробок. Эфир и морилка (рис. 7.1) для наркотизирования мух при подсчётах (морилкой может служить широкая ёмкость или стаканчик с пробковой крышкой, в которой есть углубление для ватки с эфиром). Пенопласт и воронка для перетраивания мух в морилку. Молочно-белое стекло (можно использовать прозрачное стекло, под которое подкладывается белый лист), кисточки или пёрышки, препаровальные иглы для разбора мух. Бинокуляр или обычная лупа. Кастрюля и любой нагревательный прибор для приготовления среды. Весы и мерный цилиндр для взвешивания ингредиентов питательной среды. Этикетки и маркеры. Термостат, сушильный шкаф.

Как работать с дрозофилой

Все манипуляции с мухами выполняют, когда насекомые находятся под наркозом. В качестве наркотизирующего вещества употребляют *диэтиловый эфир* (другое название — *этоксизтан*), который капают на пробку морилки.

Для помещения мух из культуры в морилку необходимо, осторожно потряхивая или постукивая основанием пробирки о кусок пенопласта, перегнуть мух подальше от

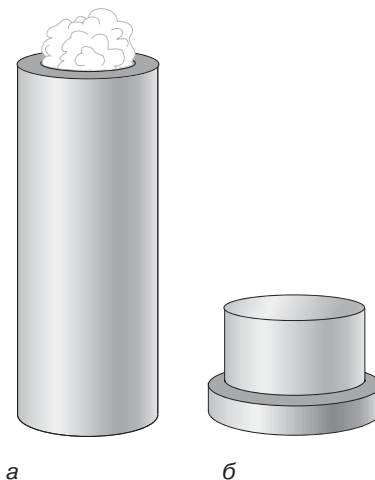


Рис. 7.1

Морилка для работы с дрозофилой: а — ёмкость с ватой; б — крышка

пробки, затем быстро открыть её, столь же быстро приставить к отверстию такую же пробирку, служащую морилкой, и перевернуть. Если диаметр морилки больше, то на неё устанавливают воронку и пробирку с мухами быстро переворачивают в воронку. Теперь лёгким постукиванием надо стряхнуть в морилку оставшихся мух, после чего воронку отнять и закрыть морилку пробкой с эфиром.

Как только мухи перестанут двигаться, их нужно вытряхнуть из морилки. Внимание! От большой дозы эфира (через 3—5 мин) мухи погибают. Характерный признак мёртвых мух — растопыренные кверху и в стороны крылья и безжизненно вытянутые ножки. Следует остерегаться того, чтобы в морилку попала капля эфира: мухи в этом случае моментально гибнут.

Осмотр и подсчёт мух удобнее проводить под небольшим увеличением бинокля, располагая насекомых на молочно-белом стекле. Брать мух можно пинцетом за крылышки или ножки. Для разбора и подсчёта используйте пёрышко или мягкую кисточку.

Если во время осмотра мухи начинают пробуждаться от наркоза, их следует накрыть крышкой от морилки или чашкой Петри и снова дать небольшую дозу эфира, подложив смоченную эфиром ватку.

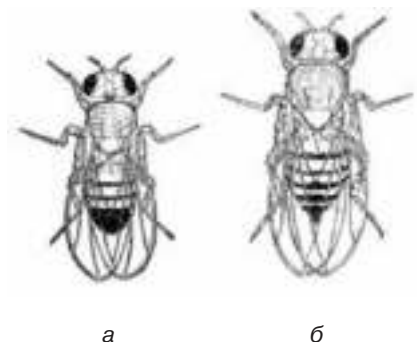


Рис. 7.2

Самец (а) и самка (б) дрозофилы

Половые признаки дрозофилы

Самец (рис. 7.2, а): брюшко цилиндрическое, с притуплённым концом, несколько последних брюшных члеников сплошь пигментированные (чёрные). На первом членике лапки есть половые гребешки, представляющие собой ряд крепких хитиновых щетинок.

Самка (рис. 7.2, б): брюшко несколько округлое, с заострённым концом, непигментированное, гребешки на лапках отсутствуют.

Проведение скрещивания

Для скрещивания необходимо брать только девственных (виргинных) самок, так как у оплодотворённой особи в любой момент времени в семяприёмнике может оставаться некоторое количество спермы от предыдущей копуляции. Самцы и самки дрозофилы в течение 6—8 ч после вылупления не способны к оплодотворению, следовательно, мухи, отобранные за этот период, —

девственные. Поэтому перед постановкой скрещивания всех вылупившихся мух необходимо встряхнуть из пробирки. Три—пять девственных самок одной линии помещают в пробирку объёмом 10—15 мл вместе с таким же количеством самцов. Эти мухи составляют *родительское поколение*. При увеличении количества родителей появляется опасность перенаселения, в результате чего плодовитость мух падает.

Плодовитость одной особи — до 200 яиц, но в первые 1,5—2 суток после вылупления самки обычно не откладывают яиц или откладывают их очень мало. Наиболее плодовиты 3—4-суточные самки. Кладка яиц лучше всего происходит на питательную среду с хорошо проросшими дрожжами, т. е. спустя 1—2 суток после её приготовления.

Для откладки яиц мухи должны находиться в пробирке 3—5 суток, после чего их удаляют из пробирки, а из отложенных яиц развивается следующее поколение.

Подсчёт мух целесообразнее производить на вторые — третьи сутки после начала вылета молодых особей. В более ранние сроки вылетают преимущественно самки, а в более поздние происходит гибель мух.

Неудачи при проведении опытов

1. Полное несоответствие данных, полученных в опыте, ожидаемым результатам (неудачи экспериментального характера). *Возможные причины:* для скрещивания взяты или не девственные самки, или по ошибке — особи не из той культуры; неправильно сделаны надписи или перепутаны этикетки.
2. Неудачи, относящиеся к условиям содержания, вследствие чего культуры развились плохо или не развились вовсе. *Возможные причины:* среда не была засеяна дрожжами (видно, что в культуре обильно развилась плесень); среда изготовлена слишком твёрдой (агар взят в избытке), поэтому молодые личинки не смогли проникнуть в глубь среды и погибли; среда изготовлена слишком жидкой (взято недостаточно агара), поэтому отложенные яйца погибли в излишней влаге (утонули); самки оказались стерильными или культура была поставлена на несвежую среду (в культуре замечен избыток дрожжей — толстый беловатый пласт на поверхности среды); мухи не проснулись от слишком большой дозы наркоза (на поверхности среды видны мёртвые мухи).

Во всех перечисленных случаях живых мух нужно пересадить на свежую среду и поставить скрещивание заново.

МЕТОДИКА: влияние химических веществ на морфологические признаки, плодовитость и выживаемость дрозофилы

Вводная информация

Общеизвестно, что многие лекарственные препараты обладают определённым токсическим эффектом. Поэтому разработчикам важно оценить влияние различных концентраций лекарства на живой организм. Дрозофилу широко применяют для таких тестовых исследований. Обычно воздействуют на ранние стадии жизненного цикла мух. При этом используют *лечебные дозы препаратов* (лечебные дозы, как правило, указаны в инструкциях к медицинскому препарату). Влияние лекарств на плодовую мушку проявляется в виде *морфозов* — ненаследуемых аномалий развития органов. Морфозы глаз проявляются в виде редукции числа фасеток: глаз уменьшен или совсем отсутствует (рис. 7.3). Морфозы крыльев — это их недоразвитие разной степени. Воздействие препарата, приводящее к такого рода нарушениям развития, называют *тератогенным эффектом* (от греч. *teratos* — чудовище, урод).

С помощью данной методики можно оценить действие любых небезопасных для здоровья исследователя химических веществ (например, солей тяжёлых металлов).

Рис. 7.3

Морфозы глаз у дрозофилы:
а — нормальный глаз; б — редукция фасеток; в — полная редукция глаза



а



б



в

Условия содержания

Для содержания мух используют дрожжевую питательную среду, смазанную дрожжевой суспензией. В опытных вариантах применяют разные дозы лекарственного препарата. Для этого в готовую тёплую среду помещают соответствующую дозу лекарства и размешивают, желательно до полного растворения.

В качестве экспериментального вещества можно взять порошок гризеофульвина¹, полученный при размельчении таблеток.

Этап 1. Постановка эксперимента

Оборудование: культура дрозофилы, ёмкости и фильтровальная бумага для получения яиц, инвентарь для работы с живыми мухами (см. с. 251), гризеофульвин, 16 банок для инкубации яиц, термостат.

1. Для исследования получить яйца дрозофилы. Для этого на дно двух ёмкостей с 10 парами взрослых особей поместить на сутки кусочки фильтровальной бумаги, на которую мухи отложат яйца. Затем под биноклем или лупой отсчитать четыре раза по 400 яиц (четыре варианта опыта при четырёхкратной повторности).
2. Заложить контрольный вариант в четырёх повторностях. Для этого четыре кусочка бумаги (на каждом — по 100 яиц) разместить в четырёх банках с питательной средой без добавления гризеофульвина.
3. Заложить три опытных варианта (с добавлением гризеофульвина в концентрациях 4 г/л, 8 г/л и 12 г/л) в четырёх повторностях каждый. Для этого четыре кусочка бумаги (на каждом — по 100 яиц) разместить в четырёх банках с питательной средой, в которую добавлен гризеофульвин в концентрации 4 г/л. Следующие 400 яиц разложить в банки со средой, включающей гризеофульвин в концентрации 8 г/л. Так же заложить последний вариант. Содержать насекомых при температуре 25 °С.

Этап 2. Учёт и статистическая обработка экспериментальных данных

Оборудование: инвентарь, необходимый для работы с живыми мухами (см. с. 251).

1. Произвести учёт плодовитости дрозофил: подсчитать вылетевших имаго и вычислить их долю (в процентах) по отношению к числу яиц.

¹ Гризеофульвин — противогрибковый лекарственный препарат; оказывает тератогенное влияние на дрозофил, вызывая у них морфозы глаз и крыльев.

2. Произвести учёт гибели куколок: подсчитать погибших куколок (они тёмные) и вычислить их долю (в процентах) по отношению к общему числу куколок. Последнее равно сумме погибших куколок и пустых шкурок (пупариев), оставшихся на стенках банки после вылета имаго.
3. Произвести учёт тератогенного эффекта (в процентах): подсчитать имаго, имеющих морфозы глаз, и соотнести с общим числом вылетевших имаго. Затем подсчитать мух с морфозами крыльев и тоже соотнести с общим числом взрослых особей.
4. Произвести статистическую обработку данных: вычислить статистические показатели количественной изменчивости в каждом из вариантов опыта и оценить существенность различий между выборочными средними.

МЕТОДИКА: изучение влияния температуры на скорость развития дрозофилы

Условия содержания

Мух содержат на дрожжевой питательной среде, смазанной дрожжевой суспензией. Пробирки помещают в термостат или в *климатические камеры* — ёмкости, выполненные из теплоизолирующего материала (например, деревянные ящики с теплоизолирующим слоем из ваты, войлока или другого материала). Температуру в камерах или в термостате задают, исходя из того, что при 10 °С полный цикл развития дрозофилы составляет 70—72 суток, при 20 °С — 14—15 суток, при 25 °С — 10 суток, при 27 °С — 9 суток.

Используя данную методику, можно изучить влияние других абиотических факторов на дрозофилу — влажности, освещённости и т. п.

Этап 1. Постановка эксперимента

Оборудование: культура дрозофилы, 21—30 пробирок с питательной средой, весь необходимый инвентарь для работы с живыми мухами (см. с. 251), термостат (климатические камеры).

1. В каждую из подготовленных пробирок поместить пару взрослых мух (самку и самца).
2. Поставить три варианта опыта: контроль (при 25 °С), пониженная температура (например, 10 °С), повышенная температура (например, 29 °С). Опыт провести в 7—10 повторностях (7—10 пробирок на каждый вариант опыта).
3. Содержать насекомых в термостате или климатических камерах при постоянной выбранной температуре.

Если оборудования, имеющегося в наличии, недостаточно для проведения сразу нескольких вариантов опыта, их можно ставить последовательно.

Этап 2. Учёт и статистическая обработка экспериментальных данных

Оборудование: весь необходимый инвентарь для работы с живыми мухами (см. с. 251).

1. Определить время полного развития дрозофил в каждом варианте. Отсчет начать по прошествии суток с момента начала опыта (в это время самки начинают делать кладки), а закончить в момент вылета всех имаго — потомков. Затем вычислить среднее время вылета для каждого из трёх вариантов опыта.
2. Вычислить статистические показатели количественной изменчивости признака «развитие особи» и проверить существенность различий между выборочными средними вариантов опыта.

В ходе исследования можно определить долю вылетевших имаго по отношению к количеству яиц, что позволит сделать вывод о влиянии температуры на плодовитость дрозофил.

МЕТОДИКА: изучение зависимости плодовитости и выживаемости дрозофилы от плотности популяции

Условия содержания

В подобных опытах создают два варианта *модельных популяций*. Один из них — две самки (♀) и два самца (♂) в одной ёмкости — является контрольным вариантом опыта, так как в данном случае изучаемый фактор (плотность популяции) практически не оказывает влияния на величину плодовитости мух. Второй вариант опыта — модельная популяция с избыточной плотностью заселения: 32 ♀ : 32 ♂, 4 ♀ : 4 ♂, 8 ♀ : 8 ♂ или 16 ♀ : 16 ♂. Опыты, как правило, ставят в пятикратной повторности.

Для получения потомства от родительских особей, как и во всех экспериментах, где имаго откладывают яйца на субстрат, используют дрожжевую питательную среду. Для этого берут ёмкости объёмом 50 мл, т. е. диаметром около 3 см и высотой около 5,5 см. В крышки камер помещают дрожжевую питательную среду, смазанную суспензией дрожжей. Среда служит кормом для имаго и одновременно субстратом, на который самки дрозофилы откладывают яйца. В качестве таких ёмкостей можно использовать пластмассовые закрывающиеся крышечкой стаканчики из-под витаминов или других лекарств (предварительно хорошо промытые и высушенные). Камеры ставят на крышку, а в дне стаканчиков проделывают отверстия, обеспечивающие аэрацию камеры.



Размножающихся насекомых содержат при температуре 25 °С. Вылетевших имаго — также при температуре 25 °С, но на агаро-сахарозной среде, смазанной дрожжевой суспензией.

Этап 1. Постановка эксперимента

Оборудование: 10 подготовленных камер для родительских особей, широкие биологические пробирки с плоским дном диаметром 2,4 см и высотой 6 см (или любые подручные ёмкости примерно такого же объёма) с дрожжевой питательной средой для развития яиц до стадии имаго, весь необходимый инвентарь для работы с живыми мухами (см. с. 251), термостат.

1. Заложить два варианта опыта (в пятикратной повторности): в контрольные камеры поместить по две пары мух, в опытные камеры — по 32 пары. Поставить камеры в термостат с температурой 25 °С.
2. Через 24 ч крышки со средой извлечь и заменить новыми. Подсчёты не производить.
3. Через 48 ч после начала опыта крышки с камер снять и подсчитать число отложенных яиц под биноклем или школьным микроскопом с малым увеличением. Получаемые данные занести в рабочую таблицу (табл. 7.1). Затем аккуратно извлечь среду вместе с яйцами из крышек и перенести в биологические пробирки. В крышки заложить новые порции среды и продолжать опыт в течение 5 суток.
4. Пробирки выдерживать при 25 °С до вылета взрослых особей из яиц. Вылетевших имаго подсчитать, переместить в любые ёмкости на агаро-сахарозную среду и содержать при 25 °С.

Таблица 7.1

Учёт отложенных яиц в модельных популяциях

Контрольные камеры									Опытные камеры								
Сутки		2	3	4	5	6	Σ	R	$\bar{x}_1$	2	3	4	5	6	Σ	R	$\bar{x}_2$
Повторность	1																
	2																
	3																
	4																
	5																

Примечание. Σ — суммарное число яиц в повторности; R — среднее число яиц, откладываемых самкой за сутки; $\bar{x}_1$ и $\bar{x}_2$ — среднее число яиц, откладываемых самкой за сутки, в контрольном и опытном вариантах опыта.

Этап 2. Учёт и статистическая обработка экспериментальных данных

Оборудование: инвентарь, необходимый для работы с живыми мухами (см. с. 251).

1. Произвести учёт величины яйцекладки: подсчитать суммарное число яиц в каждой повторности, вычислить среднее число яиц, откладываемых одной самкой за сутки, в каждой повторности, а также среднее число яиц в кладке для каждого варианта опыта.
2. Оценить выживаемость насекомых: в каждом варианте опыта подсчитать имаго, вылетевших из отложенных яиц, и определить среднее число взрослых потомков, вылетевших в течение суток, в расчете на одну родительскую самку.
3. Оценить плодовитость имаго. Для этого в каждом варианте опыта вычислить отношение среднего числа вылетевших имаго (в расчёте на одну самку) к среднему числу яиц, отложенных самкой в сутки, и выразить частное в процентах.
4. Вычислить статистические показатели количественной изменчивости и оценить существенность различий между выборочными средними модельных популяций.

ЛИТЕРАТУРА ПО ОБЪЕКТУ

О методах работы с дрозофилой

1. *Ватти К. В., Тихомиров М. М.* Руководство к практическим занятиям по генетике. — М. : Просвещение, 1979.
2. *Медведев Н. Н.* Практическая генетика. М. : Наука, 1968.

О влиянии экологических факторов на организмы

1. *Александров В. А.* Взаимоотношения между тератогенезом и канцерогенезом // Генетика аномалий развития. Киев : Наукова думка, 1986.
2. *Альбертс Б., Брей Дж., Льюис Д. и др.* Молекулярная биология : в 3 т. Т. 1, 2. М. : Мир, 1994.
3. *Геннадьев Л. А.* Генетические последствия загрязнения окружающей среды мутагенными факторами. Т. 1, 2. М. : Самарканд, 1990.
4. *Гилберт С.* Биология развития : в 3 т. : пер. с англ. М. : Мир, 1993.

5. *Дубинин Н. П., Пашин И. В.* Мутагенез и окружающая среда. М. : Наука, 1978.
6. *Дубинин Н. П., Пашин И. В.* Мутагены окружающей среды. М. : Знание, 1977.
7. *Журков В. С.* Выявление возможных химических мутагенов в окружающей среде. М. : Наука, 1985.
8. *Захаров И. А.* Экологическая генетика и проблемы биосферы. Л. : Знание, 1984.
9. *Иванов В. И., Булыжников В. Э., Мглинец В. А.* Генетика развития дрозофилы: гомеостатные гены, детерминация, морфогенез // Биология развития и управления наследственностью. М. : Наука, 1986.
10. *Корочкин Л. И.* Взаимодействие генов в развитии. М. : Наука, 1977.
11. *Лазюк Г. И.* Медицинская тератология: достижения и перспективы развития // Генетика аномалий развития. Киев : Наукова думка, 1986.
12. *Маневич Э. А.* Влияние химических агентов на эмбриональное развитие животных и человека. Тератогенное действие некоторых лекарственных препаратов // Фармакология. Токсикология. М., 1966.
13. Методические рекомендации по проверке мутагенных свойств новых лекарственных препаратов // Фарм. комитет. М., 1981.
14. Мутагены и канцерогены в окружающей среде. Новые подходы к оценке генетического риска для здоровья / под ред. С. Г. Инге-Вечтомова, В. В. Худолея. СПб., 1998.
15. *Порошенко Г. Г.* Экологические аспекты мутагенеза и их изучение в модельных системах. М., 1988.
16. *Раппопорт И. А.* Специфические морфозы у дрозофилы, вызванные химическими веществами // Бюллетень экспериментальной биологии и медицины. 1939. Т. 7, № 5.
17. *Раппопорт И. А.* Химический мутагенез. Алма-Ата : Наука, 1980.

О популяционных закономерностях дрозофилы

1. *Андрианова Н. С.* Экология насекомых. М. : МГУ, 1970.
2. *Бей-Биенко Г. Я.* Общая энтомология. М. : Высшая школа, 1971.
3. *Буров В. Н.* Плотность популяции как фактор динамики численности // Зоологический журнал. 1968. 47 (10). С. 1145—1161.

4. Варли Дж. К., Градуэлл Дж. Р., Хассел М. П. Экология популяций насекомых. М. : Колос, 1978.
5. Гречаный Г.В. Генетико-экологические факторы, определяющие влияние плотности популяции на плодовитость *D. melanogaster*. Л., 1975.
6. Лэк Д. Численность животных и её регуляция в природе : пер. с англ. М. : Изд-во иностр. лит., 1957.
7. Одум Е. Экология : в 2 т. : пер. с англ. М. : Просвещение, 1968.

По статистической обработке данных

Лакин Г. Ф. Биометрия : учеб. пособие для биол. специальностей вузов. М. : Высшая школа, 1990.

7.2. Объект исследования — микроорганизмы

Общая характеристика объекта

Основная проблема при изучении микроорганизмов — их малые размеры и сложные методики, которые обычно используют в лабораторных исследованиях. Однако существует несколько простых методов количественного определения микроорганизмов в воздухе и почве, которые могут быть применены в рамках экологического практикума школьников.

Воздух — неблагоприятная среда для развития микроорганизмов. Здесь нет пищи, недостаточное количество влаги, опасные для жизни ультрафиолетовые лучи. В то же время в воздухе постоянно находится большое число спор грибов и бактерий — это вполне подходящая среда для их распространения. Источниками *микрофлоры воздуха* являются почва, растительность, животные и люди. На открытых пространствах её в основном составляют почвенные сапротрофы, а в закрытых помещениях — обитатели верхних дыхательных путей. Именно из воздушной среды микроорганизмы — возбудители различных заболеваний попадают в организм человека и животных. Поэтому количество микроорганизмов в воздухе является важным санитарным показателем, характеризующим его чистоту. *Санитарно-гигиеническое состояние воздуха* оценивают по *микробному числу*, общему содержанию микроорганизмов в 1 м³.

Почва является более благоприятной средой для жизнедеятельности микроорганизмов. В каждом участке почвы складывается специфический комплекс экологических условий: влажности, температуры, засоления — свой состав компонентов питательного субстрата. Поэтому в каждом микролокусе имеется определённый микробиоценоз. Количество и разнообразие микроорганизмов в почве характеризует её *биологическую активность*. Чем выше этот показатель, тем более благоприятны почвенные условия для растений.

Изучение количества микроорганизмов в воздухе может стать темой самостоятельного исследования или быть частью других работ (например, мониторинга помещений, городских улиц, биогеоценозов). Визуальная оценка микробиоценозов почвы позволяет составить первое представление о её свойствах и часто является частью почвенных исследований.

Примерные направления исследований

1. Определение санитарно-гигиенического состояния воздуха помещений по микробному числу.
2. Динамика численности групп популяций микроорганизмов воздуха в зависимости от изменения условий температуры и влажности, от времени суток, запылённости.
3. Визуальная оценка микробиоценозов почв, испытывающих разную антропогенную нагрузку.

МЕТОДИКА: определение и количественный учёт спор бактерий и грибов в воздухе

Приготовление питательной среды (мясо-пептонный агар)

1. Один бульонный кубик залить 250 мл воды, кипятить несколько минут.
2. Задать реакцию среды (уровень кислотности удобно контролировать при помощи индикаторной бумаги). Для бактерий pH равен 6,5—7,0; для грибов — 4,5—5.
3. Для обесцвечивания бульона добавить в него один белок куриного яйца, предварительно смешанного с равным количеством воды и хорошо взбитого. Нагреть 30 с до появления сгустка, а затем отфильтровать.
4. В бульон добавить 2% агара, кипятить 5 мин и простерилизовать одним из нижеперечисленных методов.

Стерилизация питательной среды и микробиологического оборудования

Термические методы: стерилизация в автоклаве паром под давлением: (1 атм, 121 °C) в течение 20 мин; стерилизация в термостате сухим жаром (160—170 °C) в течение 2—3 ч; *тиндализация* — дробная стерилизация, при которой стерилизуемый материал ежедневно прогревают 1 ч на водяной бане при

температуре 60—65 °С в течение 5 дней или при температуре 70—80 °С — в течение 3 дней.

Холодные методы: стерилизация фильтрованием через специальные мембранные фильтры, изготовленные из ацетата, коллодия, целлюлозы (применяют для стерилизации питательных сред); стерилизация ультрафиолетовым светом.

**Заражение питательной среды
(седиментационный метод, или метод оседания по Коху)**

1. Питательную среду разлить в стерилизованные чашки Петри и дать пластинке застыть. Приготовить чашки для двух вариантов опыта — контрольного и опытного, по 5—6 повторностей в каждом. На крышке указать дату посева и время.
2. Для заражения опытные чашки Петри открыть и выдерживать в течение 50 мин. Крышки, не переворачивая, поставить рядом. Одну чашку контрольного варианта не открывать вовсе.
3. Контрольные и заражённые чашки Петри поместить в термостат при температуре 22—25 °С на несколько дней для культивирования посевов. Чашки просматривают на 5, 7, 10 и 15-й день после посева. В опытных чашках при культивировании появляются колонии бактерий и грибов. Большинство бактерий имеют колонии правильной формы с ровными краями, чаще — окрашенные или молочно-белые. Колонии грибов разрастаются в густую, пушистую, бархатистую или мучнистую массу. В контрольных чашках колонии не должны появляться. Если это произошло, контрольные и опытные варианты придётся заложить снова.

Анализ и оценка санитарно-гигиенического состояния воздуха

1. Подсчитать число колоний в чашках Петри.
2. Определить площадь чашки Петри по формуле $S = \pi r^2$.
3. Пересчитать количество колоний на 100 см².
4. Определить микробное число для каждой повторности. Установлено, что за 50 мин при спокойном состоянии воздуха на площадь 100 см² оседает приблизительно столько же микроорганизмов, сколько их содержится в 100 л (0,1 м³) воздуха. Исходя из этого, можно подсчитать количество микроорганизмов в 1 м³ воздуха данного помещения.
5. Для опытного варианта определить выборочную среднюю, её ошибку и доверительный интервал для генеральной средней.

6. Сделать вывод о санитарно-гигиеническом состоянии воздуха, сравнив свои данные с табличными значениями (табл. 7.2).

Таблица 7.2

**Микробиологические критерии чистоты воздуха помещений
(по Я. С. Шапиро, 2003)**

Качество воздуха	Всего микроорганизмов в 1 м ³ воздуха	
	летом	зимой
Чистый	1500	4500
Загрязнённый	2500	7000

При помощи данной методики можно проводить сравнительные исследования, определяя микробное число в разное время суток, в различных помещениях.

**Утилизация отработанного
микробиологического материала**

Чашки с отработанным материалом помещают в автоклав или сухожаровой шкаф так же, как при стерилизации, для уничтожения культур. После этого посуду очищают и моют.

**МЕТОДИКА: изучение качественного
состава микробиоценоза почвы**

Посев почвенного образца по Новогородскому

1. Подготовить питательную среду. Посев почвы делают на агаровую среду, которая имеет состав: на 1 л воды 18 г агара (так называемый *голодный агар*). Воду доводят до кипения, добавляют агар, разваривают 30 мин. Полученную среду стерилизуют и разливают в стерилизованные чашки Петри слоем 0,5 см.
2. Подготовить пробы почвы. Сухую почву растирают в ступке пальцем в резиновой перчатке в течение 5 мин для отделения клеток от поверхности почвенных частиц и их разобщения. Растёртую пробу почвы просеивают через сито с диаметром отверстия 0,25 мм.
3. Провести посев почвы и культивирование микроорганизмов. Полученную почвенную пыль высевают в чашки Петри на «голодный агар» (навеска 10—50 мг). Засеянные чашки помещают в термостат при температуре 25 °С на 3—5 дней.

Обработка результатов эксперимента

1. Изучить образцы под микроскопом. Пробиркой с ровным краем вырезать агаровые блоки и с помощью пинцета поместить на предметное стекло. Микроскопируют образец с общим увеличением около 100—200 раз¹. На препарате видно, что почвенная пылинка служит центром микробиоценоза, рост которого идёт локально (по водной плёнке вокруг почвенной частицы за счёт питательных компонентов самой почвы).

В состав микробиоценоза почвы входят бактерии (доминирующая группа), актиномицеты, дрожжи, плесневые грибы, водоросли, простейшие (рис. 7.4). *Бактерии* выглядят как мелкая зернистость вокруг почвенной частицы, окрашены в жёлто-коричневые или серо-белые тона. *Актиномицеты* образуют тонкий бесцветный субстратный мицелий в виде прямых или разветвлённых нитей, от которых отходят более толстые тёмные гифы воздушного мицелия, формирующие конидиеносцы. Гифы воздушного мицелия могут быть прямыми, спирально закрученными, волнистыми. *Эукариотические* грибы в основном представлены плесневыми грибами. Их мицелий в 10 раз толще, чем у актиномицетов. *Водоросли* видны в виде округлых клеток (может просматриваться оформленное ядро). Под микроскопом клетки водорослей обычно светятся, так как содержат пигменты.

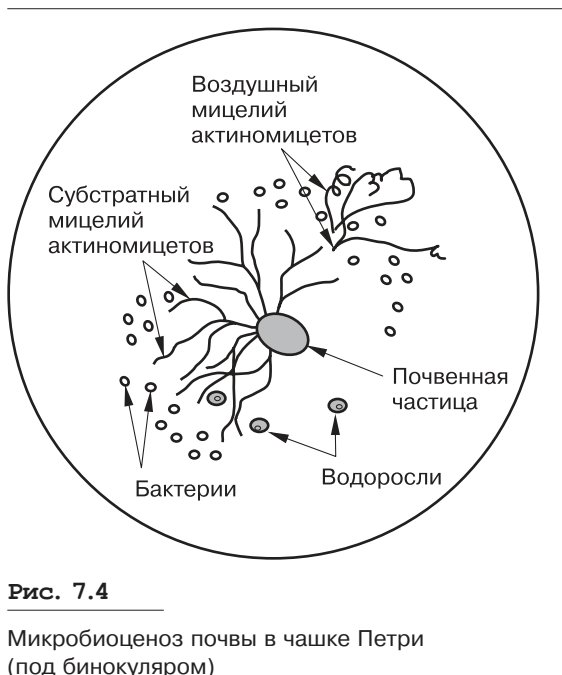


Рис. 7.4

Микробиоценоз почвы в чашке Петри (под бинокуляром)

2. Зарисовать микробиоценозы. Мицелий актиномицетов изобразить одной линией, так как он целостный (не имеет перегородок). Сначала зарисовать субстратный мицелий, а затем воздушный. Мицелий плесневых грибов изобразить двумя линиями, показывая его толщину.

¹ Общее увеличение подсчитывают, умножая увеличение объектива на увеличение окуляра.

Утилизация отработанного микробиологического материала

Чашки с отработанным материалом помещают в автоклав или сухожаровой шкаф так же, как при стерилизации, для уничтожения культур. После этого посуду очищают и моют.



ЛИТЕРАТУРА ПО ОБЪЕКТУ

1. *Аристовская Т. В.* Микробиология процессов почвообразования. Л. : Наука, 1980.
2. *Шаниро Я. С.* Микроорганизмы: вирусы, бактерии, грибы. СПб. : Элби-СПб., 2003.

7.3. Объект исследования — человек и его деятельность

Общие характеристики объекта

Человек — один из самых интересных и доступных объектов исследования. Огромное количество разнообразных методик разработано для оценки различных показателей организма человека. С их помощью можно измерить и определить уровень физического развития, физиологическое состояние организма, особенности организации нервной системы, индивидуальные биоритмы. Можно оценить влияние различных факторов на здоровье человека, способность адаптироваться к различным воздействиям.

В экологии наиболее часто изучают не отдельного человека, а целые группы людей. Это позволяет выявить общие закономерности изменения показателей состояния организма и установить взаимосвязи между ними.

Непременное условие проведения исследования на людях — применение методик, не причиняющих вреда здоровью, и согласие испытуемого участвовать в исследовании.

Деятельность человека тоже важный объект исследования. Человек оказывает очень существенное влияние на окружающую среду, причём результаты человеческой деятельности в основном негативно действуют на всё живое, в том числе на самого человека.

Примерные направления исследований

1. Оценка показателей здоровья человека (групп людей).
2. Определение обеспеченности организма микроэлементами и витаминами.

3. Определение функционального состояния и адаптивных возможностей организма человека (групп людей).
4. Определение преобладающего типа высшей нервной деятельности у людей разных профессий.
5. Определение различных характеристик индивидуальных биоритмов человека; преобладание определённых характеристик у людей разных возрастов и профессий.
6. Изучение влияния частоты воздействия стрессирующих факторов на организм в течение определённого промежутка времени (недели, месяца).
7. Определение степени напряжённости адаптационных систем организма.
8. Определение количества загрязнителей, попадающих в окружающую среду в результате работы автотранспорта.

МЕТОДИКА: измерение показателей физического развития

Вводная информация

Здоровье — это состояние полного физического, духовного и социального благополучия, одна из несомненных ценностей каждого человека и общества в целом. Здоровье формируется под влиянием сложного комплекса внутренних факторов (таких как наследственность, состояние иммунной системы, психо-эмоциональное состояние) и внешних воздействий (таких как состояние окружающей среды, здоровый образ жизни, социальное благополучие).

Показатели *физического развития* являются наиболее объективными и надёжными критериями благоприятного или неблагоприятного влияния различных факторов на рост и развитие организма. Физическое развитие человека оценивают в первую очередь по состоянию опорно-двигательной системы, соотнося длину тела (рост), массу и окружность грудной клетки.

Оценка роста-весового соотношения

Оборудование: ростомер, напольные весы.

1. Измерить рост с помощью ростомера (в сантиметрах).
2. Определить свой вес при помощи напольных весов.
3. Рассчитать по формуле *должную массу* (Д. м.) для данного роста:

↳ Д. м. (для молодого человека) = $0,71 \times \text{Рост} - 57,98$;

↳ Д. м. (для девушки) = $0,62 \times \text{Рост} - 48,92$.

4. Сравнить полученную величину с реальной измеренной массой (Р. м.) и сделать вывод о соответствии своей массы росту (расхождение более чем на 15% в ту или иную сторону является фактором риска). Если Р. м. больше Д. м., то по величине разности между ними врачи выделяют четыре степени ожирения: расхождение на 15—29% — 1-я степень; на 30—40% — 2-я степень; на 50—100% — 3-я степень; более чем на 100% — 4-я степень.

Определение типа сложения по индексу пропорциональности

Оборудование: ростомер, сантиметровая лента.

1. Измерить рост (в сантиметрах) с помощью ростомера.
2. Измерить окружность грудной клетки (в сантиметрах) с помощью сантиметровой ленты. Ленту начинают накладывать сзади по нижним углам лопаток; спереди она проходит по среднегрудинной точке (место прикрепления четвёртых рёбер к груди — под молочными железами).
3. Рассчитать индекс пропорциональности (И. п.):

$$\text{И. п.} = \frac{\text{Окружность грудной клетки}}{\text{Рост}} \cdot 100\%.$$

4. Сделать вывод о своём типе сложения по величине индекса пропорциональности:
 - ↳ 52—54% (для мужчин) и 50—52% (для женщин) — нормальный тип сложения (*нормостенический*);
 - ↳ менее 52—54% (для мужчин) и 50—52% (для женщин) — узкогрудый тип сложения (*астенический*);
 - ↳ более 52—54% (для мужчин) и 50—52% (для женщин) — широкогрудый тип сложения (*гиперстенический*).

Оценка гармоничности физического развития

Оборудование: ростомер, напольные весы, сантиметровая лента.

1. Измерить рост с помощью ростомера.
2. Измерить окружность грудной клетки с помощью сантиметровой ленты.

3. Определить массу тела с помощью медицинских весов.
4. Пользуясь таблицей 7.3, определить размерные категории, в которые попадают полученные значения показателей.

Таблица 7.3

Категории показателей физического развития

В столбцах таблицы указаны правые границы «коридоров» значений; значения больше правой границы 6-го «коридора» считать в составе 7-й категории

1. Рост, см

Возраст, лет	Пол	Категория					
		1	2	3	4	5	6
13	М	140,2	143,6	147,4	160,4	165,8	169,6
	Д	139,5	143,1	148,0	160,3	164,3	168,0
14	М	144,9	148,3	152,4	166,4	172,2	176,0
	Д	144,0	147,4	152,4	164,2	168,0	170,5
15	М	149,3	153,2	158,0	172,0	178,0	181,0
	Д	148,1	151,6	156,3	167,0	170,3	172,6
16	М	154,0	158,0	162,2	177,4	182,0	185,0
	Д	151,7	155,0	158,3	169,0	172,0	174,1
17	М	159,3	163,0	168,1	181,2	185,1	187,9
	Д	154,1	157,3	161,2	170,0	173,1	175,5

2. Масса тела, кг

Возраст, лет	Пол	Категория					
		1	2	3	4	5	6
13	М	31,0	33,4	39,8	49,0	56,2	63,6
	Д	32,0	35,3	40,0	51,8	56,8	64,2
14	М	34,0	35,2	42,2	54,6	62,6	70,6
	Д	36,1	39,9	44,0	55,0	60,9	70,0

Окончание табл. 7.3

Возраст, лет	Пол	Категория					
		1	2	3	4	5	6
15	М	37,8	40,8	46,9	60,2	65,1	76,5
	Д	39,4	43,7	47,6	58,0	63,9	73,6
16	М	41,2	45,4	51,8	65,9	73,0	82,5
	Д	42,4	46,8	51,0	61,0	66,2	76,1
17	М	46,4	50,5	56,8	70,6	78,0	86,2
	Д	45,2	48,4	52,4	62,0	68,0	79,0

3. Окружность груди, см

Возраст, лет	Пол	Категория					
		1	2	3	4	5	6
13	М	64,7	66,9	70,2	78,2	87,2	88,0
	Д	64,3	66,8	70,0	80,9	85,0	88,0
14	М	67,0	68,6	73,1	81,8	86,2	91,0
	Д	67,0	69,6	73,0	83,5	87,6	91,0
15	М	70,0	72,6	76,3	85,7	90,1	94,2
	Д	70,0	72,9	76,2	85,5	89,3	92,6
16	М	73,3	76,1	80,0	89,9	93,6	97,0
	Д	73,0	75,9	78,8	87,1	90,6	93,9
17	М	77,0	80,1	82,9	92,2	95,5	98,4
	Д	75,4	78,0	80,7	88,0	91,1	94,6

5. Сделать вывод о гармоничности своего физического развития:

- ↳ развитие можно считать гармоничным, если категории всех трёх показателей совпадают;
- ↳ развитие умеренно негармоничное, если номера категорий любой пары показателей различаются на две единицы;

- ↳ развитие выражено негармоничное, если номера категорий любой пары показателей различаются на три единицы и более; в таких случаях желательно проконсультироваться у врача, который порекомендует соответствующий способ коррекции.

МЕТОДИКА: определение функционального состояния и дыхательных возможностей организма

Вводная информация

Оценка *функционального состояния организма* выявляет степень развития дыхательной и сердечно-сосудистой систем. В основу этой оценки положен учёт изменения частоты пульса и дыхания в зависимости от положения тела или определённого мышечного напряжения.

Техника постановки эксперимента

Оборудование: секундомер.

1. Сделать обычный вдох. Задержать дыхание (сколько сможете), зажав нос пальцами. Записать время задержки.
2. Сделать обычный выдох. Задержать дыхание (сколько сможете), зажав нос пальцами. Записать время задержки.
3. Выполнить дозированную нагрузку, например низкие (глубокие) приседания в течение 30 с. Повторить задержку дыхания на выдохе. Зафиксировать время задержки.
4. Сделать вывод о функциональном состоянии дыхательной системы испытуемого, исходя из следующих данных:
 - ↳ у здоровых детей и подростков 6—18 лет время задержки дыхания на выдохе колеблется в интервале 30—55 с;
 - ↳ у здоровых школьников задержка дыхания на выдохе составляет 12—13 с;
 - ↳ при дозированной физической нагрузке за норму обычно принимают уменьшение времени задержки дыхания на выдохе не более чем на 50%.

МЕТОДИКА: определение состояния сердечно-сосудистой системы с помощью пробы М-ринэ

Оценивают физическую работоспособность испытуемого по приросту пульса после нагрузки в процентах от нормального пульса.

1. Подсчитать пульс в спокойном состоянии в течение минуты.
2. Выполнить дозированную нагрузку — низкие (глубокие) приседания в течение 30 с. Снова подсчитать пульс в течение минуты.

3. Сделать вывод о состоянии сердечно-сосудистой системы и физической работоспособности испытуемого, исходя из данных таблицы 7.4.

Таблица 7.4

Оценка физических показателей организма по пробе Маринэ

Увеличение пульса, %	Состояние сердечно-сосудистой системы	Работоспособность
0—25	Отличное	Высокая
26—50	Хорошее	Нормальная
51—75	Хорошее	Удовлетворительная
76 и более	Неудовлетворительное	Неудовлетворительная

МЕТОДИКА: оценк общего состояния здоровья с помощью тест МПК

Вводная информация

Показатель *максимального потребления кислорода* (МПК) позволяет судить о резервных возможностях дыхательной, сердечно-сосудистой и других адаптационных систем организма. Величина МПК зависит от развития и функционального состояния этих систем. Всемирная организация здравоохранения считает тест МПК объективным обобщённым показателем резервных возможностей организма и, как следствие, — показателем *общего состояния здоровья*.

Наиболее часто используют метод определения МПК с помощью «степ-теста» (восхождения на ступеньку высотой 30—35 см для детей и 50 см — для взрослых).

Техника постановки эксперимента

Оборудование: скамейка для «степ-теста», секундомер, калькулятор, весы.

1. Измерить массу тела испытуемого с помощью весов.
2. По команде экспериментатора (он засекает время) испытуемый начинает восхождения на ступеньку в течение 4 мин в среднем темпе — 20 восхождений в минуту. Каждое восхождение выполняют на 4 счёта: «раз» — шаг одной ногой на ступеньку, «два» — шаг другой ногой, «три» — одной ногой на пол, «четыре» — другой ногой на пол.
3. После завершения восхождений (на пятой минуте) подсчитать пульс испытуемого.

4. Рассчитать мощность работы (N , кг · м/мин) по формуле:

$$N = m \cdot h \cdot n \cdot K,$$

где m — масса тела испытуемого, кг; h — высота скамейки, см; n — число циклов восхождений; K — коэффициент, учитывающий величину работы при спуске со ступеньки (табл. 7.5).

Таблица 7.5

Коэффициент подъёма и спуска для детей и взрослых

Возраст, лет	Пол	
	мужской	женский
8—12	1,2	1,2
13—14	1,3	1,3
15—16	1,4	1,3
17 и старше	1,5	1,5

5. Рассчитать величину МПК, мл/мин, по формуле Добельна:

$$\text{МПК} = \frac{A \cdot N}{H - S} \cdot K \cdot 1000,$$

где N — мощность работы, кг · м/мин; H — пульс на пятой минуте, уд./мин; A — коэффициент поправки к формуле в зависимости от возраста и пола; S — коэффициент поправки к пульсу в зависимости от возраста и пола; K — возрастной коэффициент (табл. 7.6).

Таблица 7.6

Поправочные коэффициенты к формуле Добельна

1. Коэффициенты зависимости от возраста и пола

Возраст, лет	A		S	
	Пол		Пол	
	мужской	женский	мужской	женский
6—8	1,05	0,80	—30	—30
9	1,11	0,85	—30	—30
10	1,11	0,95	—30	—30
11	1,15	0,95	—40	—30
12—13	1,20	0,98	—50	—40

Окончание табл. 7.6

Возраст, лет	А		S	
	Пол		Пол	
	мужской	женский	мужской	женский
14	1,25	1,05	–60	–40
15	1,27	1,05	–60	–40
16	1,29	1,10	–60	–40
Взрослые	1,29	1,29	–60	–40

2. Возрастной коэффициент (K)

Возраст, лет	K	Возраст, лет	K
6—8	0,931	14	0,883
9	0,922	15	0,878
10	0,914	16	0,868
11	0,907	17	0,860
12	0,900	18	0,853
13	0,891	19	0,846

6. Рассчитать относительную величину МПК, мл/мин · кг, по формуле:

$$\text{МПК}_{\text{отн}} = \frac{\text{МПК}}{m},$$

где m — масса тела, кг.

7. Сравнивая полученные результаты с данными оценочной таблицы 7.7, оценить резервные возможности организма.

Таблица 7.7

**Оценка резервных возможностей организма
по относительной величине МПК**

Возраст, лет	МПК, мл/мин · кг		Оценка
	Юноша	Девушка	
6—8	До 44,0	До 37,5	Низкая
	44,1—52,0	37,6—42,0	Удовлетворительная

Окончание табл. 7.7

Возраст, лет	МПК, мл/мин · кг		Оценка
	Юноша	Девушка	
	52,1—54,0	42,1—49,5	Высокая
10—11	До 43,0	До 41,6	Низкая
	43,1—45,0	41,7—43,6	Удовлетворительная
	45,1—47,0	43,7—45,6	Высокая
12—13	До 41,0	До 37,5	Низкая
	41,1—43,0	37,6—39,5	Удовлетворительная
	43,1—45,0	39,6—41,5	Высокая
14—15	До 43,6	До 35,5	Низкая
	43,7—45,5	35,6—37,5	Удовлетворительная
	45,6—47,5	37,6—39,5	Высокая
16—18	До 42,0	До 35,0	Низкая
	42,1—45,0	35,1—38,0	Удовлетворительная
	45,1—47,0	38,1—41,0	Высокая

Если оценка резервных возможностей организма оказалась низкой, это свидетельствует о слабом здоровье человека и подверженности организма заболеваниям.

МЕТОДИКА: определение тип высшей нервной деятельности

Вводная информация

Тип высшей нервной деятельности (ВНД) — это совокупность врождённых и приобретённых свойств нервной системы, определяющих характер взаимодействия организма с окружающей средой и находящихся своё отражение во всех функциях организма. Особенности ВНД определяются характером взаимодействия основных нервных процессов. Поэтому в основе классификации типов ВНД лежат различия таких свойств нервной системы, как *сила, подвижность и уравновешенность* нервных процессов.

Тип ВНД формируется в ходе индивидуального развития организма на основе врождённых свойств нервной системы под влиянием факторов внешней среды и во многом определяет характер человека. Характер (темперамент) —

это целостный устойчивый индивидуальный склад психической жизни личности, проявляющийся в деятельности, общении и типичных способах поведения.

Русский физиолог Иван Петрович Павлов (1849—1936) выделял *четыре наиболее выраженных типа ВНД*: живой, спокойный, безудержный и слабый, которые в общих чертах соответствуют *четырёх типам характера (темперамента)* — сангвинику, флегматику, холерику, меланхолику.

Сбор данных

Испытуемому предлагают заполнить анкету, состоящую из 42 вопросов. Если он затрудняется ответить однозначно, то ему следует выбирать наиболее подходящий из возможных вариантов (то, что для него наиболее характерно). Оценку ответов проводят по таблице 7.8.

Таблица 7.8

Шкала оценки ответов

Тип ответа	Характеристика ответа	Балл
Утвердительный	В высшей степени	+3
	В средней степени	+2
	В малой степени	+1
Неопределённый		0
Отрицательный	В высшей степени	–1
	В средней степени	–2
	В малой степени	–3

Вопросы для оценивания показателей силы нервных процессов

1. В конце каждого занятия не чувствую усталости. Материал усваиваю хорошо как в начале занятия, так и в конце.
2. В конце учебного года занимаюсь с той же активностью и продуктивностью, что и в начале.
3. В период сдачи экзаменов и зачётов сохраняю высокую работоспособность до конца.
4. Быстро восстанавливаю силы после экзаменов.

5. При опасности действую смело, легко подавляя излишнее волнение, неуверенность, страх.
6. Склонен к риску, к острым ощущениям в ситуациях, требующих энергичных действий.
7. На собраниях смело высказываю своё мнение, критикую недостатки своих товарищей.
8. Стремлюсь участвовать в общественной работе.
9. Неудачные попытки при решении задач, сдаче зачётов мобилизуют меня на достижение поставленной цели.
10. В случае неудачного ответа на экзаменах, получения двойки настойчиво готовлюсь к пересдаче.
11. Порицание родителей, преподавателей, товарищей оказывает положительное влияние на моё состояние и поведение.
12. Безразличен к насмешкам, шуткам.
13. Легко сосредоточиваюсь. Не отвлекаюсь при помехах (хождении, разговорах) во время умственной работы.
14. После неприятностей легко успокаиваюсь и сосредоточиваюсь на работе.

**Вопросы для оценивания показателей
уравновешенности нервных процессов**

15. Спокойно делаю трудную и неинтересную работу.
16. Перед экзаменами, выступлениями сохраняю спокойствие.
17. Накануне экзаменов, переезда, путешествия поведение обычное.
18. Хорошо сплю перед серьёзными испытаниями.
19. Умею сдерживаться, легко и быстро успокаиваюсь.
20. В волнующих ситуациях (спор, ссора) владею собой, спокоен.
21. Характерна вспыльчивость и раздражительность по любому поводу.
22. Проявляю сдержанность, самообладание при неожиданном известии.
23. Легко храню в секрете неожиданную новость.
24. Начатую работу всегда довожу до конца.
25. Тщательно готовлюсь к решению сложных вопросов.

26. Настроение обычно ровное, спокойное.
27. Активность в учебной работе, физической работе проявляю равномерно, без спадов и подъёмов.
28. Для меня характерны равномерная и плавная речь, сдержанные движения.

Вопросы для оценивания показателей подвижности нервных процессов

29. Стремлюсь скорее начать выполнение всех учебных и общественных поручений.
30. Часто допускаю много ошибок, потому что спешу.
31. К выполнению заданий приступаю сразу, не всегда обдумывая их.
32. Легко изменяю привычки, легко приобретаю навыки.
33. Быстро привыкаю к новым людям, к новым условиям жизни.
34. Люблю быть с людьми, легко завожу знакомства.
35. Быстро втягиваюсь в новую работу.
36. Легко перехожу от одной работы к другой.
37. Люблю, когда задания часто меняются.
38. Легко и быстро засыпаю, просыпаюсь и встаю.
39. Легко переключаюсь от переживания неудач и неприятностей к деятельности.
40. Мои чувства ярко проявляются в эмоциях, в мимике и вегетативных реакциях (краснею, бледнею, бросаю в пот, в дрожь и т. д.).
41. Часто меняется настроение по любому поводу.
42. Речь и движения быстрые.

Обработка результатов и выводы

Ответы, выраженные в баллах, заносят в таблицу (табл. 7.9). Для расчёта общей суммы баллов в процентах общую сумму баллов со знаками «+» и «—» делят на максимальное количество баллов, которое можно набрать в каждом блоке вопросов (оно составляет $14 \cdot 3 = 42$), а затем умножают на 100%.

Таблица 7.9

Сводная таблица результатов анкетирования

Сила		Уравновешенность		Подвижность	
Вопросы 1—14	Оценка	Вопросы 15—28	Оценка	Вопросы 29—42	Оценка
Сумма баллов со знаком «+»		Сумма баллов со знаком «+»		Сумма баллов со знаком «+»	
Сумма баллов со знаком «—»		Сумма баллов со знаком «—»		Сумма баллов со знаком «—»	
Общая сумма баллов со знаками «+» и «—»		Общая сумма баллов со знаками «+» и «—»		Общая сумма баллов со знаками «+» и «—»	
Общая сумма баллов, %		Общая сумма баллов, %		Общая сумма баллов, %	

На основании подсчитанной общей суммы баллов, выраженной в процентах, делают вывод о выраженности силы, уравновешенности и подвижности нервных процессов, придерживаясь ориентировочных границ: 50% и более — высокая выраженность, 49—25% — средняя, 24—0% — низкая.

На основе полученных данных делают вывод о типе характера (темперамента), учитывая, что для сангвиника характерна высокая сила нервных процессов, уравновешенность и подвижность; для флегматика — высокая сила и уравновешенность, низкая подвижность; для холерика — высокая сила и подвижность, низкая уравновешенность; для меланхолика — низкая сила, подвижность и уравновешенность нервных процессов.

МЕТОДИКА: определение хронобиологического типа человек

Вводная информация

Изменения условий окружающей среды ритмичны. Все живые организмы, в том числе человек, имеют приспособления к этому явлению. Их жизнедеятельность подчиняется биологическим ритмам, в соответствии с которыми периодически ускоряются и замедляются функции систем органов организма. Физиологические ритмы могут изменяться на протяжении жизни человека. Если судить по суточным ритмам физиологической активности, каждого из нас можно в той или иной мере отнести к одному из хронобиологических типов (от греч. *chronos* — время, *bios* — жизнь), условно называемых «сова», «жаворонок» и «голубь» (смешанный тип).

Сбор данных

При выполнении тестового задания необходимо придерживаться следующих рекомендаций.

- Прежде чем ответить на вопрос, нужно прочитать его до конца.
- Необходимо ответить на все вопросы в заданной последовательности.
- На каждый вопрос надо отвечать независимо от другого.
- Для всех вопросов, где даны на выбор ответы с оценочной шкалой, необходимо выбрать только один ответ.
- На каждый вопрос необходимо отвечать как можно откровеннее.

1. Когда вы предпочитаете вставать, если впереди у вас свободный день и вы имеете возможность руководствоваться только собственными ощущениями?

Часы суток (перечеркните только одну клеточку)

5.00	5.30	6.00	6.30	7.00	7.30	8.00	8.30	9.00	9.30	10.00	10.30	11.00	11.30
☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐

← 5 4 3 2 1 →

2. Когда вы предпочитаете ложиться спать, если вечером не заняты и имеете возможность руководствоваться только собственными ощущениями?

Часы суток (перечеркните только одну клеточку)

20.00	20.30	21.00	21.30	22.00	22.30	23.00	23.30	24.00	0.30	1.00	1.30	2.00	2.30
☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐

← 5 4 3 2 1 →

3. Можете ли вы утром проснуться в определённое время без будильника?

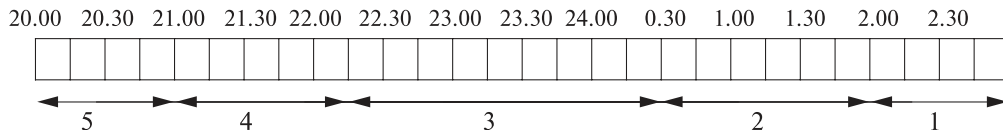
- Конечно, да 4
 Иногда не могу 3
 Почти всегда в этом случае ставлю будильник на нужное время. ... 2
 Всегда ставлю будильник на нужное время 1

4. Насколько легко вам вставать утром?

- Очень тяжело 1
 Относительно тяжело 2

- Сравнительно легко 3
 Очень легко 4
5. Насколько вы деятельны в первые полчаса после утреннего вставания?
- Большая вялость 1
 Небольшая вялость 2
 Относительно деятелен 3
 Очень деятелен 4
6. Какой у вас аппетит после утреннего вставания в первые полчаса?
- Совсем нет аппетита 1
 Слабый аппетит 2
 Сравнительно хороший аппетит 3
 Очень хороший аппетит 4
7. Как вы себя чувствуете в первые полчаса после утреннего вставания?
- Очень усталым 1
 Усталость в небольшой степени 2
 Относительно бодрым 3
 Очень бодрым 4
8. Если на следующее утро вы не должны идти в школу, когда вы ложитесь спать по сравнению с вашим обычным временем отхода ко сну?
- Всегда или почти всегда в обычное время 4
 Менее чем на 1 ч позже обычного 3
 На 1—2 ч позже обычного 2
 Больше чем на 2 ч позже обычного 1
9. Вы решили регулярно делать физкультурную зарядку или заниматься физической тренировкой. Ваш друг предложил заниматься дважды в неделю по одному часу утром начиная с 7 ч утра. Будет ли это благоприятным временем для вас?
- Мне это время очень подходит 4
 Для меня это время относительно приемлемо 3
 Мне это будет достаточно затруднительно 2
 Мне будет очень трудно 1
10. В какое время вечером вы чувствуете, что сильно устали и должны идти спать?

Часы суток (перечеркните только одну клеточку)



11. Вам поручают работу, которая займёт примерно два часа. Какое время суток вы предпочтёте, если не заняты и хотите выполнить задание в период наивысшей работоспособности (по вашим ощущениям)?

8.00—10.00.	6
11.00—13.00	4
15.00—17.00	2
19.00—21.00	0

12. Если вы ложитесь спать в 23.00, насколько усталым вы себя ощущаете?

Очень усталым.	5
Относительно усталым.	3
Слегка усталым	2
Совсем не усталым	0

13. Какие-то обстоятельства заставили вас лечь спать несколькими часами позднее обычного. На следующее утро нет необходимости вставать в обычное время. Какой из указанных ниже вариантов будет наиболее верным для вас?

Просыпаюсь в обычное для себя время и не хочу спать	4
Просыпаюсь в обычное для себя время и продолжаю дремать	3
Просыпаюсь в обычное для себя время и снова засыпаю.	2
Просыпаюсь позднее, чем обычно	1

14. Вам предстоит отъезд рано утром между 4 и 6 ч. На следующий день у вас нет никаких обязанностей. Какую из следующих возможностей вы выберете?

Сплю сразу после приезда	1
Перед отъездом дремлю, а после приезда сплю	2
Перед отъездом сплю, а после приезда дремлю	3
Полностью высыпаюсь перед отъездом	4

15. Вы должны в течение двух часов сделать тяжёлую физическую работу. Какое время для этого вам подошло бы лучше всего, если бы вы имели возможность выбирать?

8.00—10.00.	4
11.00—13.00	3

15.00—17.00	2
19.00—21.00	1

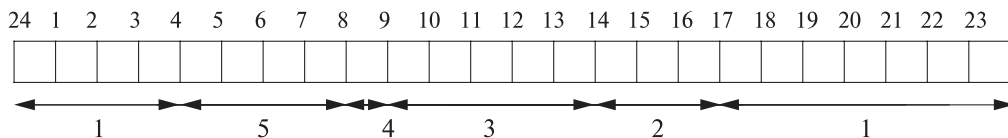
16. Вы решили серьёзно заняться закаливанием организма. Друг предложил делать это вместе дважды в неделю по часу начиная с 8 ч вечера. Устраивает ли вас это время?

Да, полностью устраивает, буду в хорошей форме	1
Буду в относительно хорошей форме	2
Нет, буду быстро устывать	3
Нет, это время меня совсем не устраивает	4

17. Представьте, что вы сами можете выбирать график своего трудового дня. В какие пять часов (без перерывов) работа будет для вас наиболее продуктивной и принесёт большее удовлетворение?

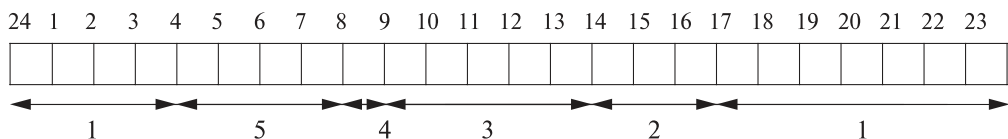
Часы суток

(перечеркните пять клеточек; количество баллов за ответ определите по правому концу выбранного временного периода)



18. В какой час суток вы чувствуете себя «на высоте»?

Часы суток (перечеркните только одну клеточку)



19. Иногда говорят «человек утреннего типа» и «человек вечернего типа». К какому типу вы себя относите?

Чётко к утреннему типу — «жаворонок»	6
Скорее к утреннему типу, чем к вечернему	4
Смешанный тип — «голубь»	3
Скорее к вечернему типу, чем к утреннему	2
Чётко к вечернему типу — «сова»	0

Обработка результатов и выводы

Подсчитывают сумму баллов и, пользуясь таблицей 7.10, определяют хронобиологический тип испытуемого: «жаворонок», «сова» или «голубь».

Таблица 7.10

Схема оценки хронобиологического типа человека по результатам анкетирования

Хронобиологический тип	Балл
«Жаворонок» (чётко выраженный утренний тип)	69
Слабо выраженный утренний тип	59—69
«Голубь» (индифферентный тип)	42—58
Слабо выраженный вечерний тип	31—41
«Сова» (сильно выраженный вечерний тип)	31

МЕТОДИКА: определение количеств загрязнителей, поступающих в окружающую среду в результате выбросов автотранспорта

1. Выбрать участок автотрассы длиной 0,5—1 км, имеющий хороший обзор. Измерить длину участка по обочине (в километрах).
2. Определить число единиц автотранспорта разного типа (автобусов, легковых и грузовых автомобилей), проходящих по участку в течение 20 мин, данные занести в таблицу (табл. 7.11).

Таблица 7.11

Рабочая таблица

1. Определение суммарного расхода топлива на участке

Тип автотранспорта	Длина участка, км	Число машин за 20 мин, шт.	N, шт.	L, км	Q, л
Легковые автомобили					
Грузовые автомобили					
Автобусы					
Грузовые автомобили с дизельным двигателем					

2. Расход количества загрязнений на участке

Вид загрязнителя	Объём загрязнителя, л	Масса загрязнителя, г	ПДК, г/м ³
Угарный газ			
Углеводороды			

Окончание табл. 7.11

Вид загрязнителя	Объём загрязнителя, л	Масса загрязнителя, г	ПДК, г/м ³
Диоксид азота			

- Умножив полученное число автомобилей на три, вычислить N — число единиц автотранспорта, проходящих по участку за 1 ч. Рассчитать общий путь (L), пройденный автомобилями каждого типа за 1 ч: умножить N на длину участка. Результаты занесите в таблицу 7.11.
- Рассчитать объём топлива (Q , л), сжигаемого за 1 ч автомобилями каждого типа, по формуле:

$$Q = L \cdot Y,$$

где Y — удельный расход топлива на 1 км (табл. 7.12).

Полученные данные занести в расчётную таблицу, отметив буквой вид используемого топлива: Б — бензин; ДТ — дизельное топливо.

Таблица 7.12

Показатели работы автотранспорта

1. Нормы расхода топлива

Тип автотранспорта	Удельный расход топлива, л/км
Легковые автомобили	0,11—0,13
Грузовые автомобили	0,29—0,33
Автобусы	0,41—0,44
Дизельные грузовые автомобили	0,31—0,34

2. Коэффициент выброса загрязняющих веществ в атмосферу

Вид топлива	K		
	Угарный газ	Углеводороды	Диоксид азота
Бензин	0,6	0,1	0,04
Дизельное топливо	0,1	0,03	0,04

- Рассчитать общие объёмы (V_{CO} , $V_{C_nH_n}$, V_{NO_2} , л) выделившихся в атмосферу загрязнителей (угарного газа, углеводородов, диоксида азота) при сгорании топлива по формуле:

$$V = K \cdot Q,$$

где K — эмпирический коэффициент, определяющий зависимость величины выброса вредных веществ от вида горючего (см. табл. 7.12). Занести рассчитанные данные в нижнюю часть таблицы 7.11.

6. Рассчитать массу каждого из выделившихся вредных веществ (m_{CO} , $m_{\text{C}_n\text{H}_n}$, m_{NO_2} , г) по формуле:

$$m = \frac{V \cdot M}{22,4},$$

где M — молекулярная масса каждого из оцениваемых загрязнителей. Занести цифры в расчётную таблицу.

7. Определить по справочным таблицам ПДК каждого из загрязнителей и сравнить с опытными данными.



ЛИТЕРАТУРА ПО ОБЪЕКТУ

Губарева Л. И., Мизирева О. М., Чурилова Т. М. Экология человека. М. : Владос, 2003.

7.4. Объект исследования — растения

Общие характеристики объекта

Растения — самый доступный объект для исследования. Многие из них постоянно живут рядом с нами и нетребовательны к условиям содержания. Для опытов в лаборатории можно использовать семена и проростки, корнеплоды, клубни и луковицы, комнатные растения, ветки деревьев и кустарников, водные (аквариумные) растения. Различные наблюдения можно проводить в природных и городских экосистемах.

Некоторые виды растений являются индикаторами состояния окружающей среды. На них можно выполнять модельные исследования.

Изучают растения очень давно и весьма активно, поэтому литература по экологии, физиологии, морфологии и анатомии растений очень обширна. Также разработаны различные методики, многие из которых не требуют особых материальных затрат и просты в исполнении.

Примерные направления исследований

1. Влияние тяжёлых металлов на рост и развитие проростков (см. гл. 2).
2. Влияние освещённости на интенсивность фотосинтеза у разных видов наземных и водных растений (см. 2.5, 4.3).

3. Определение содержания хлорофилла у растений разных экологических групп (см. гл. 2).
4. Оценка состояния водного баланса у растений разных экологических групп (см. 2.4).
5. Влияние света на прорастание семян и развитие проростков (см. 2.5, 3.3, 4.3).
6. Сравнение глубины покоя различных древесных и кустарниковых растений (см. гл. 2, 4).
7. Определение солеустойчивости злаков по всхожести семян (см. гл. 2).
8. Оценка загрязнения различных субстратов с помощью биотеста на проростках (см. гл. 2).
9. Обнаружение тяжёлых металлов в растениях (см. гл. 2).
10. Обнаружение нитратов в растениях (см. гл. 2, 4).
11. Описание и сравнение растительных сообществ (см. гл. 4).

Некоторые техники работы с растениями

Проращивание семян

Для опытов обычно отбирают семена растений с известными сроками сбора урожая и всхожестью, сходные по внешнему виду, размерам и массе (для однородности пробы).

Семена перед проращиванием обеззараживают, замачивая их в 1%-м растворе перманганата калия или облучая ультрафиолетовым светом в течение 30 мин. После замачивания семена отмывают дистиллированной водой.

Проращивают семена в чашках Петри. На дно чашки укладывают фильтровальную бумагу и равномерно распределяют семена — от 7 до 100 штук в зависимости от размера. На внешней стороне чашки (обычно снизу) подписывают вариант опыта. Затем пипеткой вносят 10 мл раствора (или дистиллированной воды), закрывают крышкой, под которую тоже укладывают фильтровальную бумагу для создания большей влажности. Проращивают семена в тёплом месте, например в термостате при температуре 26 °С.

Выращивание проростков растений

Для выращивания проростков до стадии зеленения листьев используют метод «тряпичной куклы». На столе раскладывают полиэтиленовую плёнку шириной 10—15 см, на неё помещают подложку — фильтровальную бумагу, чистую ткань или салфетку. На подложку в несколько рядов на расстоянии

1—1,5 см друг от друга раскладывают семена. Плёнку вместе с подложкой сворачивают в рулон, скрепляют резинкой и ставят вертикально в стакан с водой, наполненный на $\frac{1}{3}$. Стакан помещают в тёплое место, например в термостат, и выдерживают при температуре 26 °С.

Измерение длины и площади органов растений

При измерении *длины корней* или *побегов* растений в процессе их роста на исследуемый орган, как правило, наносят метки на определённом расстоянии. Для этого проще всего воспользоваться пластмассовой расчёской. Зубцы расчёски, изготовленной промышленным способом, находятся на одинаковом расстоянии друг от друга. Так как расчёски делают разных размеров, можно иметь набор шаблонов для измерений.

Для нанесения меток кончики зубцов расчёски смачивают в чернилах и прикладывают к корню или побегу. Чернила высыхают и сохраняются длительное время при осторожном поливе. На протяжении всего исследования все промеры производят с помощью одного и того же шаблона.

Диаметр стебля следует замерять в строго определённом месте, обычно это середина выбранного междоузлия.

Площадь листа можно измерить *весовым методом*. Для этого исследуемый лист накладывают на миллиметровую бумагу и обводят контур. Контур вырезают и взвешивают. Из такой же бумаги вырезают три квадрата с определённой площадью, обычно 100 см² (10 × 10 см), взвешивают их и определяют среднюю массу квадрата. Площадь исследуемого листа вычисляют по формуле:

$$S = \frac{100a}{b},$$

где a — масса контура листа, b — средняя масса квадрата бумаги (площадью 100 см²).

Определение сырой и сухой массы растительного материала

Для определения *сырой массы* исследуемый орган, например лист, промокают фильтровальной бумагой для удаления воды с поверхности и сразу взвешивают. Основная масса сырого вещества приходится на свободную воду, содержащуюся в тканях, так как вегетативные части растений на 70—90% состоят из воды. Масса сырого вещества может сильно колебаться в зависимости от времени суток, влажности воздуха и т. д. Поэтому отбор проб для определения сырой массы следует проводить в строго определённое время дня при одних и тех же условиях. Для стандартизации (выравнивания) условий полезно поливать растения за 3—5 ч до сбора материала.

При определении *сухой массы* исследуемый растительный материал высушивают в сушильном шкафу при температуре 60—70 °С или в термостате при

температуре 90—105 °С. Через 2—2,5 ч растительный материал взвешивают. Ещё через 0,5 ч проводят повторное взвешивание и, если масса материала не изменилась, сушку прекращают, а полученную величину считают *сухой массой*. Если же масса изменилась, растительный материал опять помещают в сушильный шкаф (термостат) и взвешивают через некоторое время. Эту операцию повторяют до установления постоянной массы.

Для получения более точного результата сушку рекомендуют проводить в течение 18—24 ч.

Инфильтрация тканей

Метод *инфильтрации* — заполнение жидкостью межклетников изолированных фрагментов ткани растения. Инфильтрацию *высечек* (вырезанных фрагментов пластинки листа, срезов стебля и т. д.) проводят с помощью медицинского шприца. Сначала указательным пальцем закрывают отверстие канюли шприца, наливают воду на $\frac{2}{3}$ объёма, закладывают в шприц высечки и вставляют поршень. Затем переворачивают шприц канюлей вверх и, убрав палец, выгоняют из баллона шприца воздух, вдавливая поршень. После этого, плотно закрыв пальцем отверстие канюли, поршень оттягивают, в результате чего в баллоне понижается давление. Шприц резко встряхивают, одновременно отнимая палец от канюли. Давление в баллоне шприца тут же повышается, и вода заполняет межклетники высечек — *происходит инфильтрация*. Повторяя операцию несколько раз, можно добиться полной инфильтрации. Её легко обнаружить невооружённым глазом: ткани высечек темнеют и на просвет выглядят однородными.

Инфильтрированные высечки опускаются на дно сосуда. Иногда этого не происходит из-за образовавшихся на поверхности высечек пузырьков газа. Пузырьки легко удалить кисточкой или стеклянной палочкой.

Определение типа пространственного распределения организмов

В полевых исследованиях бывает необходимо оценить среднюю плотность популяции какого-либо вида травянистых растений, занимающих большой луг, или выявить характер их размещения на территории (см. 3.2). Для этого в обследуемом местообитании в разные, случайно выбранные места помещают деревянную рамку, ограничивающую определённую площадь (например, 1 м²), и каждый раз подсчитывают растения интересующего вида. Для закладки пробных площадок можно вместо рамки использовать четыре колышка, соединённых бечёвкой и помещаемых в углы квадрата пробной площадки.

Данные по нескольким (не менее 10) пробным площадкам используют для подсчёта среднего числа организмов на одной площадке (выборочной средней) и дисперсии. Если значение дисперсии приблизительно равно выборочной средней, распределение особей считают *случайным*. Если величина дисперсии ниже выборочной средней, тогда распределение *равномерное*. Если выше выборочной средней, тогда — *мозаичное*.

МЕТОДИКА: исследование воздействия освещённости на интенсивность фотосинтеза у наземных растений

Вводная информация

Фотосинтез у растений протекает за счёт световой энергии, поэтому его интенсивность зависит от интенсивности освещения. Существуют простые методики, позволяющие изучить эту зависимость по скорости образования кислорода.

У наземных растений образующийся при фотосинтезе кислород накапливается в межклетниках листа. Если межклетники заполнены газом, плотность листа небольшая, и он плавает на поверхности воды в сосуде. Если межклетники заполнены водой, лист опускается на дно. Кислород, образующийся при фотосинтезе, вытесняет из инфильтрированных межклетников воду, лист становится легче и всплывает на поверхность. На этом явлении основан метод Сапожникова для определения интенсивности фотосинтеза.

Техника постановки эксперимента

Оборудование: листья растений, пробочные сверла диаметром 8 мм, стаканчики, кипяченая вода, 0,5%-й раствор пищевой соды, шприцы объёмом 10 мл, стеклянные трубки, лампы на 100 Вт, люксметр.

➡ **Внимание!** При работе со стеклянной посудой и электроприбором необходимо соблюдать правила безопасности (см. Приложение 2).

1. Пробочным сверлом сделать высеки из листа и инфильтрировать их водой, насыщенной углекислым газом. Для насыщения двуокисью углерода кипяченую воду можно продуть выдыхаемым воздухом в течение 5—10 мин или использовать вместо воды 0,5%-й раствор пищевой соды (при более высокой концентрации сода оказывает вредное действие на живые клетки, что может привести к подавлению фотосинтеза).
2. Инфильтрированные высеки поместить в стаканчик с водой, насыщенной углекислым газом (с раствором соды). Один из стаканчиков поставить в темноту (контрольный вариант), другие расположить на разном расстоянии от источника света. С помощью люксметра измерить освещённость в каждой точке.
3. Оценить интенсивность фотосинтеза по времени, прошедшему с момента установки стаканов с инфильтрированными высеками на свет до всплытия 50% высечек в стакане. Высеки, находящиеся на

свету, всплывают в разное время в зависимости от интенсивности света. Высечки, находящиеся в темноте (контроль), всплывать не должны.

С помощью этой методики можно провести серию опытов по сравнению интенсивности фотосинтеза световых и темновых листьев, интенсивности фотосинтеза растений разных экологических групп и др.

МЕТОДИКА: изучение интенсивности фотосинтеза у водных растений

У водных растений интенсивность фотосинтеза можно оценить по количеству выделяющихся пузырьков кислорода.

Оборудование: веточка элодеи, лампа мощностью 100 Вт, пробирка, сосуд с водой для экранирования тепла, термометр, стеклянная палочка, пинцет, чёрная бумага для экранирования света, линейка, кипячёная вода, 0,5%-й раствор питьевой соды.

→ **Внимание! При работе со стеклянной посудой и электроприбором необходимо соблюдать правила безопасности (см. Приложение 2).**

1. Здоровую веточку элодеи длиной 3—4 см с верхушечной почкой обломить или срезать под водой и поместить в пробирку с водой, обогащённой углекислым газом (способы насыщения газом описаны в предыдущей методике).
2. Элодею поместить в пробирку верхушкой вниз, так чтобы свежесломанный кончик ветки был на 5 см ниже поверхности воды. Пробирку с веточкой поставить во внешний прозрачный цилиндр (например, в батарейный стакан) с температурой воды в нём 27 °С. Слой воды служит тепловым фильтром.
3. Полученный прибор поместить справа или слева от источника света. Вскоре из свежесломанного побега начинают выделяться пузырьки кислорода, образующегося в процессе фотосинтеза. Если пузырьки крупные и поступают редко, то нужно слегка сдавить пинцетом кончик среза или прижать его стеклянной палочкой к стенке пробирки. Если величина пузырьков не изменится, нужно обновить срез.
4. Когда пузырьки начнут выделяться равномерно, убедиться в том, что при затенении пробирки с веточкой ток пузырьков останавливается, а при возобновлении освещения возникает снова. Затенение произ-

водят чёрной бумагой, помещённой между лампой и прибором, так чтобы веточка была хорошо закрыта.

5. Измерить интенсивность фотосинтеза в разных условиях освещённости, подсчитав количество пузырьков, выделяющихся за 1 мину. Для этого прибор постепенно отодвигают от лампы на 5, 15, 25, 50 и 100 см. При этом величина освещённости меняется пропорционально квадрату расстояния от лампы. Счёт пузырьков повторяют на каждой точке три раза по 1 мине (нужно убедиться, что выделяющиеся пузырьки достаточно мелкие, в противном случае см. п. 3). Затем находят среднее число пузырьков для каждого положения лампы.

С помощью этой методики можно исследовать интенсивность фотосинтеза при разной концентрации углекислого газа. При этом сравнение числа выделившихся пузырьков нужно проводить на одной и той же веточке, так как диаметр пузырьков, определяющий скорость выделения кислорода, зависит от площади среза. Она, в свою очередь, может различаться у разных веточек. Можно также сравнить разные водные растения (например, элодею, валлиснерию, роголистник) по степени зависимости процесса фотосинтеза от освещённости.

МЕТОДИКА: определение количеств фотосинтетических пигментов в листьях

Вводная информация

Хлорофиллы и каротиноиды — важнейшие компоненты фотосинтетического аппарата листьев. Их количество зависит от интенсивности жизнедеятельности организма и тех черт, которые закреплены в генотипе. Поэтому по содержанию этих пигментов можно оценить некоторые возрастные и генетические особенности растения. Количество пигментов также отражает реакцию растительного организма на условия произрастания.

Для извлечения пигментов из листьев (*экстрагирования*) растительный материал растирают с полярным растворителем (этиловым спиртом, ацетоном). При этом пигменты переходят в раствор — образуется *экстракт*. Его обычно разбавляют тем же растворителем и используют приготовленную таким образом *вытяжку* для анализа.

Пигменты лучше всего экстрагировать из свежего растительного материала, но можно и из фиксированного. Концентрацию пигментов определяют при помощи фотоэлектроколориметра или спектрофотометра. Содержание пигментов выражают в миллиграммах на единицу сырой или сухой массы (на 1 г), в процентах от сырой (сухой) массы, а также в процентах на единицу площади листьев (дм²).

Этап 1. Получение спиртовой вытяжки

Оборудование: растительный материал (листья), весы, фарфоровая ступка, пестик, стеклянный фильтр № 2, стеклянные воронки, колба Бунзена, насос, мерные стаканы, мерная колба на 25 мл, диоксид кальция, кварцевый песок, 96%-й раствор этилового спирта.

→ **Внимание! При работе со стеклянной посудой и электроприбором соблюдайте правила безопасности (см. Приложение 2).**

1. Навеску листьев (0,1—0,15 г) поместить в фарфоровую ступку.
2. Добавить немного диоксида кальция, промытого кварцевого песка и растереть с 2—3 мл этилового спирта. К растёртой массе прилить 4—5 мл спирта, снова растирать несколько минут, а затем оставить ступку для отстаивания осадка.
3. При помощи каучуковой пробки соединить насос с колбой Бунзена. Вставить в горло колбы сухую стеклянную воронку со стеклянным фильтром.
4. После отстаивания массы нижнюю сторону носика ступки слегка смазать вазелином. Образовавшуюся над осадком взвесь (экстракт) осторожно слить по палочке в воронку и отсосать насосом (использование насоса позволяет ускорить процесс экстракции). Фильтрат из колбы Бунзена перелить через сухую стеклянную воронку в мерную колбу на 25 мл. Колбу Бунзена дважды ополоснуть небольшой порцией спирта, каждый раз сливая жидкость в мерную колбу.
5. Повторять п. 2 и 4, добавляя к осадку в ступке небольшие порции этилового спирта до тех пор, пока пигменты не будут извлечены полностью (пока растворитель не перестанет окрашиваться).
6. Содержимое мерной колбы довести растворителем до метки, закрыть каучуковой пробкой, тщательно взболтать и использовать *спиртовую вытяжку* для определения концентрации пигментов.

Этап 2. Определение концентрации хлорофиллов и каротиноидов

Оборудование: спиртовая вытяжка, спектрофотометр.

Анализ пигментов проводят при комнатной температуре на рассеянном свете, так как при сильном освещении происходит их фотоокисление и пигменты разрушаются. Вытяжку можно хранить несколько суток в тёмном холодном месте.

Спектрофотометрический анализ — наиболее точный метод определения количества пигментов в листьях. С его помощью можно измерить плотность

экстракта и по ней оценить содержание пигментов в опытном растительном материале.

Плотность экстракта (D) измеряют на спектрофотометре в красной области спектра при длинах волн, соответствующих максимумам поглощения хлорофиллов a и b (665 и 649 нм). Нужно учитывать, что плотность раствора зависит от природы растворителя. При использовании 96%-го этилового спирта концентрацию пигментов (C) рассчитывают по уравнениям¹:

$$C_{\text{хл. } a} = 13,7D_{665} - 5,76D_{649}; \quad C_{\text{кар}} = 0,22D_{649} - 8,42D_{665};$$

$$C_{\text{хл. } b} = 25,8D_{649} - 7,6D_{665},$$

где D_{665} и D_{649} — измеренные значения плотности экстракта при длинах волн 665 и 649 нм соответственно.

МЕТОДИКА: оценивание содержания воды в тканях растений

Вводная информация

Вода, содержащаяся в тканях растений, обеспечивает жизненно важные процессы — транспирацию и тургор. Её доступность во внешней среде является условием нормального существования растений. Количество воды в растениях изменяется в течение вегетационного периода. Максимальное и минимальное её содержание является характерной чертой вида.

Эту методику можно использовать для мониторинга и выявить с её помощью максимум и минимум содержания воды в течение вегетационного периода у растений одного вида. Кроме того, можно сравнивать по этому показателю растения разных видов, различных экологических групп или одного вида, но из разных местообитаний.

Техника постановки эксперимента

Оборудование: термостат, весы, стеклянные бюксы (пустые бюксы хранят в эксикаторе), эксикатор, растительный материал.

➡ **Внимание! Будьте осторожны при работе с нагревательными и электроприборами.**

1. Пустые чистые бюксы взвесить. Данные занести в рабочую таблицу (табл. 7.13).

¹ См.: Практикум по физиологии растений / под ред. Н. Н. Третьякова. — М.: Агропромиздат, 1990.

Таблица 7.13

Содержание воды в тканях растения

Повторность	Масса			m_1	Масса			m_2	Содержание воды	
	пустого бюкса	бюкса с пробой	пробы		1,5 ч	2 ч			$m_1 - m_2$	в % от сырой массы, $\frac{m_1 - m_2}{m_1} \cdot 100\%$
					бюкса с пробой	бюкса с пробой	пробы			
1										
2										
3										
4										

- Поместить в бюксы пробы листьев подопытных растений. Масса пробы — 1—2 г (сделать в четырёх повторностях). Бюксы снова взвесить, занести результаты в рабочую таблицу и рассчитать среднюю сырую массу пробы (m_1).
- Поместить бюксы в термостат и высушивать растительный материал при температуре 100—105 °С до постоянной массы. Крышки снять и поставить в термостат рядом с бюксами.
- Первое взвешивание провести через 1,5 ч, а контрольное — ещё через 0,5 ч. (Каждый раз вынутый из термостата бюкс быстро закрыть крышкой и остудить в эксикаторе.) Если при контрольном взвешивании масса не изменилась, то высушивание заканчивают. Если масса изменилась, сушку продолжают до постоянной массы. Результаты взвешиваний занести в рабочую таблицу.
- Вычислить среднюю сухую массу пробы (m_2) и заполнить пустые графы таблицы.

МЕТОДИКА: исследование водоудерживающей способности тканей

Вводная информация

Водоудерживающая способность характеризует свойство растений накапливать и удерживать влагу в своём теле в течение более или менее продолжительного времени. Водоудерживающая способность является видоспецифическим признаком и зависит от скорости потери воды тканями, которая, в свою

очередь, определяется особенностями белков цитоплазмы. Чем медленнее растение теряет воду, тем выше его водоудерживающая способность и, следовательно, оно может дольше выносить *обезвоживание*.

Суть метода состоит в наблюдении за скоростью потери воды листьями в течение некоторого времени. Опыт заканчивается, как только масса листьев станет постоянной (иногда, в зависимости от объекта, эксперимент приходится продолжать несколько суток).

Предлагаемая методика позволяет сравнивать по исследуемому показателю растения разных экологических групп.

Техника постановки эксперимента

Оборудование: растительный материал, весы, термостат, стеклянные бюксы, камера для насыщения листьев водой (любая плотно закрывающаяся ёмкость, на дно которой помещают фильтровальную бумагу и добавляют 3—5 мл дистиллированной воды), эксикатор.

1. Листья исследуемых растений (около 1 г на каждую из 3—5 повторностей) поместить на 1—2 ч во влажную камеру для насыщения водой.
2. После насыщения водой пробы взвесить. Из них две повторности сразу отобрать и определить среднюю сырую массу пробы (m_1). Остальной материал разложить на столе в комнате вдали от окна при относительно постоянной температуре.
3. Через равные промежутки времени (например, через каждые 2 ч) делать повторные взвешивания просушиваемых листьев до установления постоянной массы.
4. После того как масса листьев перестанет меняться, определить среднюю сухую массу пробы (m_2).
5. Вычислить водоудерживающую способность листьев: рассчитать количество испарившейся воды ($m_1 - m_2$) и определить, каково было содержание влаги (в процентах) в сырой массе листьев (m_1).

Все данные, полученные в ходе опыта, нужно записывать в рабочий дневник.

МЕТОДИКА: исследование критического водного дефицита

Вводная информация

Критический водный дефицит — это наибольшая потеря воды растительным организмом, которую он способен вынести без необратимых нарушений. Данный показатель, как и водоудерживающая способность, характеризует устойчивость растений к обезвоживанию и является видоспецифичным

признаком. Например, критический водный дефицит европейских видов мезофитов составляет 15—20%, а растений-ксерофитов — 60—65%.

Данная методика позволяет сравнивать по исследуемому показателю растения одного вида из разных местообитаний или разные виды растений. Для комплексного изучения устойчивости растений к обезвоживанию следует объединить эту методику с предыдущей.

Техника постановки эксперимента

Оборудование: растительный материал, термостат, весы, стеклянные бюксы, эксикатор, влажная камера, химические стаканы, штативы.

1. С нескольких растений подопытного вида собрать 30—36 однородных листьев и поместить на 1 ч во влажную камеру для насыщения водой.
2. После насыщения отобрать 3—5 листьев и определить среднюю сырую массу листа (m_1). Полученный результат занести в рабочую таблицу (табл. 7.14). Остальные листья повесить в лаборатории вдали от окна для завядания.

Таблица 7.14

Критический водный дефицит растения

m_1	Средняя масса завядающего листа						Содержание воды в сырой массе $m_1 - m_{12\text{ ч}}$	Величина критического водного дефицита, % $\frac{m_1 - m_{12\text{ ч}}}{m_1} \cdot 100\%$
	2 ч	4 ч	6 ч	8 ч	10 ч	12 ч		

3. Через 2 ч отобрать из завядающих листьев три для взвешивания и определения средней массы завядающего листа, а другие три поместить на донасыщение во влажную камеру для проверки их способности восстанавливать тургор. Занести результат в рабочую таблицу.
4. Повторить процедуру через 2 ч и далее до тех пор, пока листья, отбираемые из числа завядающих, не потеряют способность восстанавливаться. Все данные занести в рабочую таблицу.
5. Рассчитать критический водный дефицит. Для этого вычислить разность средней сырой массы листа (m_1) и массы завядающего листа в последней пробе (например, после 12 ч завядания, $m_{12\text{ ч}}$) и полученное значение выразить в процентах от сырой массы листа.

МЕТОДИКА: изучение влияния света на прорастание семян

Оборудование: семена салата *Lactuca sativa*, чашки Петри, фильтровальная бумага, фольга, лампа мощностью 15 W.

➡ **Внимание! Будьте осторожны при работе с нагревательными и электроприборами.**

1. В 12 чашек Петри разложить на влажную фильтровальную бумагу по 20 семян салата в предохраняющем зелёном свете. Сухие семена можно подсчитывать при обычном освещении, так как чувствительны к свету только набухшие семена.
2. После того как семена разложены, быстро запаковать 10 чашек в фольгу для защиты от света. Две чашки поставить на дневной свет.
3. Из 10 чашек две оставить запакованными и поместить в тёмное место (контрольный вариант). Остальные облучать лампой по схеме:

- | | |
|----------------------------|--------------------|
| ↳ 1 с облучения — 2 чашки; | ↳ 1 мин — 2 чашки; |
| ↳ 10 с — 2 чашки; | ↳ 2 мин — 2 чашки. |

Облучённые чашки снова быстро запаковать. Если помещение холодное, поместить их в термостат.

4. Через два дня в каждом из опытных вариантов подсчитать общее для двух повторностей число семян, у которых лопнула кожура и показался кончик корня (n). Полученные данные занести в рабочую таблицу (табл. 7.15).
5. Определить всхожесть семян. Для этого рассчитать долю проросших семян (в процентах от общего числа):

$$\frac{n}{40} \cdot 100\%.$$

Таблица 7.15

Влияние длительности освещённости на семена

Вариант опыта	n	Всхожесть семян, %
Контроль (темнота)		
1 с		

Окончание табл. 7.15

Вариант опыта	<i>n</i>	Всхожесть семян, %
10 с		
1 мин		
2 мин		
На свету		

МЕТОДИКА: определение глубины покоя у древесных и кустарниковых растений

Вводная информация

У лиственных деревьев и кустарников умеренного климата к зиме рост прекращается, они теряют листья и переходят в *состояние покоя*. В это время все жизненные процессы в организме протекают очень медленно, что делает растение более устойчивым к неблагоприятным внешним воздействиям. *Глубина покоя* у разных видов неодинакова. Осенью, после опадения листьев, покой наиболее глубокий (*органический*). Одни растения выходят из органического покоя ещё до наступления весны, но остаются в *вынужденном покое*, обусловленном неблагоприятными факторами среды. Другие — сохраняют состояние органического покоя до конца зимы. Если органический покой завершён, то у растений, перенесённых в благоприятные условия, почки трогаются в рост и отрастают новые побеги.

По данной методике можно проводить сравнение разных видов растений, разных жизненных форм или растений одного вида из разных местообитаний (например, произрастающих в городе и за его пределами).

Техника постановки опыта

Оборудование: банки на 200—500 мл, 3—5 побегов растений (например, черемухи, берёзы, липы, клёна, лещины, крушины и т. д.).

Особенность данной работы состоит в том, что наблюдение нужно проводить в течение длительного времени: опыт закладывают в октябре (после опадения листьев), а результаты подводят в конце февраля — марте.

1. В октябре собранные побеги этикетировать, указав на этикетках дату сбора образцов, и поставить в банку с водой, предварительно подрезав под водой концы побегов чуть выше места слома.
2. На банку наклеить этикетку с указанием исполнителей работы.

3. Раз в месяц (в ноябре, декабре, январе, феврале) осуществлять повторный сбор побегов того же вида растений (повторяя процедуру, описанную в п. 1). Следить за сроками выхода побегов из состояния органического покоя. Не реже одного раза в неделю менять воду и подрезать концы веток под водой.
4. Во время «пробуждения» почек (не пропустите!) отметить в дневнике наблюдений время начала набухания, развёртывания, роста новых побегов (табл. 7.16). Обратите внимание на скорость развёртывания почек у побегов одного вида, собранных в разные сроки.
5. При подведении итогов все данные заносят в сводную таблицу, анализируют и делают выводы о глубине и продолжительности покоя у растений разных видов.

Таблица 7.16

Глубина покоя растения

Время сбора образцов	Октябрь	Ноябрь	Декабрь	Январь	Февраль
Дата развёртывания почек и начала роста новых побегов					

**МЕТОДИКА: оценк устойчивости зл ков
к з солению почв**

Вводная информация

В условиях избыточной засоленности почвы всхожесть семян и интенсивность роста растений часто снижаются. Показателем *солеустойчивости* служит сравнение числа проросших семян в растворе соли и дистиллированной воде.

Техника постановки опыта

Оборудование: зерновки ячменя, чашки Петри, фильтровальная бумага, 1%-й раствор перманганата калия, химические стаканы, марлевые мешочки, этикетки, термостат, сушильный шкаф, пипетки на 10 мл, 10%-й раствор поваренной соли.

➡ **Вним ние!** При р боте со стеклянной посудой и электроприбо-
р ми соблюд йте пр вил безоп сности (см. Приложение 2).

1. Здоровые, однородные по размеру и массе зерновки (40—80 штук) обработать 1%-м раствором перманганата калия в течение 3—5 мин, промыть в воде и слегка подсушить фильтровальной бумагой.
2. Восемь чашек Петри прокалить в сушильном шкафу при 150 °С в течение 1 ч. На дно уложить фильтровальную бумагу.
3. Разложить по 10—20 семян в чашки Петри (два варианта по четыре повторности). В каждую контрольную чашку налить 10 мл дистиллированной воды, в каждую опытную — 10 мл 10%-го раствора соли.
4. Чашки с семенами поместить в термостат при температуре 26 °С для проращивания. На дно термостата поставить кювету с водой.
5. Через 7 дней в каждой повторности подсчитать общее число проросших семян (у них лопнула кожура и показался кончик корня) в каждом из вариантов опыта.
6. Определить среднюю для каждого варианта всхожесть семян (долю проросших семян в процентах от общего числа в варианте).
7. Результаты занести в рабочую таблицу (табл. 7.17) и сделать выводы.

Таблица 7.17

Всхожесть ячменя в зависимости от засоленности среды

Вариант опыта	Число проросших семян	Всхожесть, %
Контроль		
10% NaCl		

**МЕТОДИКА: определение степени экологического
з грязнения среды с помощью биотест**

Вводная информация

Биотестирование разнообразных субстратов (воды, почвы и т. д.) с помощью растений является стандартным приёмом в биоэкологических исследованиях и может быть использовано при оценке степени их загрязнения. В данной методике исследуют реакцию корней проростков, так как они очень чувствительны к загрязнению среды.

Техника проведения биотестирования

Оборудование: семена огурца, чашки Петри, фильтровальная бумага, мерные пипетки на 10 мл, маркер по стеклу, термостат с температурой 26 °С, весы, линейки, дистиллированная вода, 1%-й раствор перманганата калия, водопроводная вода, образец почвы.

1. Получить водную вытяжку почвы. Для этого навеску почвы (3—5 г) за сутки перед закладкой семян равномерно распределить по дну чашки Петри, закрыть бумажным фильтром, залить 20—30 мл дистиллированной воды и оставить до следующего дня. Образовавшуюся вытяжку слить в стакан и протестировать на загрязнённость.
2. Для однородности пробы семена *калибруют*, т. е. отбирают примерно одинаковые по размеру и массе. Для трёх вариантов опыта потребуется не менее 144 семян.
3. Семена на 10—20 мин поместить в 1%-й раствор перманганата калия (для обеззараживания), отмыть дистиллированной водой и разложить в 12 чашек Петри на фильтровальную бумагу по 12 штук: по четыре чашки для контроля и двух опытных вариантов. Чашки подписать.
4. В каждую чашку Петри ввести по 10 мл жидкости: в контрольный вариант — дистиллированную воду, в первый опытный вариант — водопроводную воду, во втором опытном варианте испытуемой жидкостью является образовавшийся при заливании почвы раствор.
5. Чашки Петри с семенами поместить в термостат при температуре 26 °C на четверо суток.
6. По окончании четырёх дней для каждой из четырёх повторностей опыта составить расчётную таблицу (табл. 7.18).
7. Измерить с помощью линейки длину главного корня и длину зоны боковых корней у 10 однородных проростков в каждой из чашек Петри. Данные занести в расчётную таблицу.

Таблица 7.18

Промеры проростков в первой повторности

Вариант опыта	Длина главного корня, см												Длина зоны боковых корней, см											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Σ	$\bar{x}$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Σ	$\bar{x}$
Контроль																								
Водопроводная вода																								
Вытяжка почвы																								

Примечание. Σ — сумма длин проростков; $\bar{x}$ — средняя длина проростков из одной чашки Петри.

8. В каждом варианте рассчитать выборочную среднюю ($\bar{x}_v$) и ошибку выборочной средней ($S_{\bar{x}}$). Полученные данные занести в расчётную таблицу (табл. 7.19).
9. Попарно сравнить выборочные средние каждого варианта с контролем и определить существенность различий между ними. Если различия существенные и полученные в опытных вариантах величины меньше контрольной более чем на 30%, это позволяет сделать вывод: среды, использованные в опытных вариантах, действительно оказывают токсическое действие на проростки.

Таблица 7.19

Статистический анализ результатов биотестирования

Вариант опыта	Длина главного корня			Длина зоны боковых корней		
	$\bar{x}_v$	$S_{\bar{x}}$	$\bar{x}_v$, % от контроля	$\bar{x}_v$	$S_{\bar{x}}$	$\bar{x}_v$, % от контроля
Контроль			100			100
Водопроводная вода						
Почва						

МЕТОДИКА: обнаружение тяжёлых металлов в тканях растений

Оборудование: зерновки кукурузы, чашки Петри, фильтровальная бумага, бритва (нож, скальпель), пинцет (препаровальная игла), микроскоп, маркер, термостат, установленный на 26 °С, 0,33%-й раствор $Pb(NO_3)_2$, раствор перманганата калия, реактив дитизон¹.

→ **Внимание! При работе с химическими реактивами необходимо соблюдать осторожность (см. Приложение 2).**

1. Зерновки кукурузы (56 штук), предварительно обработанные в течение 10—20 мин слабым раствором перманганата калия, разложить по 7 штук в восемь чашек Петри на фильтровальную бумагу.

¹ Дитизон можно приобрести в фирме, торгующей химическими реактивами. Реактив готовят перед употреблением: 3 мг дитизона растворяют в 6 мл ацетона, добавляют 2 мл дистиллированной воды и 1—2 капли ледяной уксусной кислоты.

2. Заложить контрольный и опытный варианты (по четыре повторности в каждом). Для этого налить в каждую чашку по 15 мл жидкости: в контрольные чашки — дистиллированную воду, в опытные чашки — раствор нитрата свинца. Чашки выдерживать в термостате при температуре 26 °С в течение 7 дней.
3. По окончании 7 дней измерить длину главного корня и длину зоны боковых корней. Данные по каждой повторности представить в табличной форме (см. п. 6 описания предыдущей методики и табл. 7.18).
4. Провести статистическую обработку полученных данных: для обоих вариантов рассчитать выборочные средние ($\bar{x}_в$) и ошибки выборочных средних ($S_{\bar{x}}$), определить доверительный интервал для генеральной средней (в табл. 7.20 обозначен $[\bar{x}_г]$). Результаты занести в расчетную таблицу (см. табл. 7.20).
5. Проверить существенность различий между опытным вариантом и контролем (см. п. 9 описания предыдущей методики).

Таблица 7.20

Статистический анализ результатов опыта по влиянию тяжёлых металлов

Вариант опыта	Длина главного корня				Длина зоны боковых корней			
	$\bar{x}_в$	$S_{\bar{x}}$	$[\bar{x}_г]$	$\bar{x}_в$, % от контроля	$\bar{x}_в$	$S_{\bar{x}}$	$[\bar{x}_г]$	$\bar{x}_в$, % от контроля
Контроль				100				100
Раствор нитрата свинца								

6. Для изучения локализации свинца в тканях растений приготовить серии тонких поперечных срезов корня и первых листьев (при работе с образцами серии срезов необходимо начинать, отступая на равное расстояние от края органа). Срезы поместить на предметное стекло, нанести 3—4 капли дитизона и накрыть покровным стеклом. Через несколько минут на срезах появится чёткое окрашивание, так как дитизон обладает высокой чувствительностью к свинцу и реагирует с его ионами с образованием нерастворимых солей — дитизонатов свинца, имеющих красный цвет. Рассмотреть срезы под микроскопом при разных увеличениях и зарисовать их, отмечая распределение свинца.

При использовании этой методики можно поставить серию модельных опытов по влиянию разных концентраций растворов солей свинца на пророст-

ки кукурузы. Известно, что 0,33%-я концентрация раствора нитрата свинца ингибирует (замедляет) рост корней проростков кукурузы на 50%.

Так же можно поставить серию опытов по выявлению влияния нитрата свинца или других растворимых солей тяжёлых металлов на проростки подсолнуха, огурца, гороха и т. д.

МЕТОДИКА: обнаружение нитратов в растениях

Вводная информация

Внесение азотных удобрений без соблюдения дозы и правил приводит к увеличению содержания нитратов в пищевых растениях. Министерство здравоохранения РФ установило предельно допустимые концентрации нитратов в сельскохозяйственной продукции (табл. 7.21).

Таблица 7.21

Нормативы содержания нитратов в сельскохозяйственных продуктах (по данным Министерства здравоохранения РФ на 2004 г.)

Продукт	Норма содержания нитратов (по нитрат-иону), мг/кг
Картофель	250
Капуста	900/500
Морковь	400/250
Томаты	300/150
Лук репчатый	80
Лук-перо	800/600
Огурцы	400/150
Арбузы	60
Дыни	90
Перец сладкий	200
Кабачки	400

Примечание. Во втором столбце в числителе приведены нормы для ранних и тепличных овощей, в знаменателе — для поздней продукции открытого грунта.

Попадание большой дозы нитратов в организм опасно для здоровья. По данным Министерства здравоохранения РФ, предельно допустимая доза нитратов для взрослого человека в сутки составляет 500 мг, токсичная доза — 600 мг и более. Использование простых методов обнаружения нитратов в растениях позволяет избежать потребления токсичных доз нитратов.

С помощью данной методики можно сравнивать разные культуры между собой, а также разные органы растения по содержанию в них нитратов.

Техника постановки эксперимента

Оборудование: растительный материал (плоды, клубни, корнеплоды, луковицы и т. д.); растворы нитрата калия (нитрата натрия) в концентрациях, мг/л: 1000, 900, 800, 700, 600, 500, 400, 300, 200, 100, 50, 10, 1; 1%-й раствор дифениламина в концентрированной серной кислоте (хранить в капельнице в темноте), пинцет (стеклянная палочка), стеклянные палочки, плоские белые фарфоровые тарелки, стеклянные пластинки, фломастер (маркер), фильтровальная бумага, ножницы, бритва (нож, скальпель).

➡ **Внимание! При работе с острыми предметами, химическими реактивами и стеклянной посудой соблюдайте правила безопасности (см. Приложение 2).**

1. Подготовить концентрационную шкалу окраски растворов, соответствующую определённому содержанию нитратов. Для этого в разные места поверхности белой фарфоровой тарелки (стеклянной пластинки с белым фоном) нанести капли контрольных растворов нитрата калия (нитрата натрия) и добавить по одной капле дифениламина. Подписать каждую контрольную пробу.
2. Растительный материал, взятый для исследования, разложить на столе и отделить ткани для анализа. Отжать сок на поверхность чистой фарфоровой тарелки (стекла с белым фоном) с помощью пинцета или стеклянной палочки. Образцы подписать фломастером. Одновременно острой бритвой (ножом, скальпелем) сделать несколько срезов изучаемой ткани и поместить на предметное стекло.
3. На срезы и выжатые порции сока нанести по капле дифениламина. Сравнить полученную окраску с контрольными пробами и оценить количество нитратов в каждом образце.
4. Полученные данные занести в сводную таблицу (табл. 7.22) и сделать выводы.

Таблица 7.22

Содержание нитратов в растении

Условия выращивания	Окраска		Количество NO_3^- , мг/кг		ПДК для человека, мг/сут	Допустимое количество продукта, г в сутки на человека
	среза	сока	в ткани среза	в соке		
					500	

5. Смывая по окончании работы растительные ткани и сок, необходимо помнить о правилах работы с кислотами.

МЕТОДИКА: описание лесного растительного сообщества

Вводная информация

Изучением фитоценозов занимаются науки геоботаника и фитоценология (раздел геоботаники и биоценологии). Геоботанические исследования необходимы во время планирования работы по освоению земель, так как типы растительных сообществ являются индикаторами качества земель и степени их пригодности для окультуривания. Знания геоботаники составляют научную основу лесоводства, луговодства, полеводства, планирования охранных и восстановительных мероприятий. Названные науки изучают фитоценозы в их связи с факторами среды: климатом, почвой, деятельностью животных и человека, а также с другими фитоценозами.

Растительный покров той или иной территории неоднороден: его составляют различные *растительные ассоциации* — совокупности растений, каждая из которых имеет определённый видовой состав и структуру (внешний облик), характер взаимоотношений между её членами и встречается в определённых условиях среды.

В пределах одного фитоценоза нередко можно наблюдать одну или несколько растительных ассоциаций. Так, в еловом лесу встречаются ассоциации, называемые «ельник зеленомошный», «ельник чернично-зеленомошный», «ельник бруснично-зеленомошный» и т. д. В названии растительной ассоциации имя существительное происходит от родового названия доминанта (эдификатора) верхнего яруса, имя прилагательное — от родовых названий доминантов нижних ярусов. Например, в ельнике чернично-зеленомошном ель является эдификатором верхнего яруса, а в нижних ярусах доминируют зелёные мхи и черника. Вместе с тем территориально разграниченные фитоценозы, напри-

мер расположенные на правом и левом берегу большой реки, могут быть образованы одной ассоциацией.

Чтобы составить представление о растительном покрове местности, учёные применяют *метод геоботанического описания*, для которого разработаны типовые бланки (см. Приложение 3).

При подготовке к исследованиям рекомендуется обратиться в лесхоз, где могут предоставить полезную информацию. Сведения о площади лесного массива, типе леса (хвойный или смешанный), основных растительных ассоциациях, типах почвы, характеристиках основных лесообразующих пород, а также карты местности очень помогут в ходе работы. При исследовании охраняемых территорий необходимо получить разрешение у владельца леса.

Последовательность составления геоботанического описания

Оборудование: геоботанический бланк; бланк для описания почв и рельефа (см. Приложение 3); карандаш; блокнот; сантиметровая лента; длинная линейка; сеточка Раменского (сеточка в жёсткой рамке размером 10×10 см с ячейками 1 см^2) или палетка (прозрачная плёнка, расчерченная на равные квадраты) для оценки проективного покрытия травянистых растений, мхов и лишайников; определители древесных и травянистых растений (по возможности); гербарные папки для сбора растений; лопатки; колышки и длинная бечёвка или шпагат для разметки участка.

Выбор пробной площадки. Пробная площадка — наиболее типичный для описываемого фитоценоза участок, однородный по рельефу и видовому составу. Форма пробной площадки зависит от простираения растительной ассоциации и может быть квадратной или прямоугольной. Размер площадки для лесной ассоциации составляет 500 м^2 , для более сложных сообществ — $0,5$ га или 1 га. Для школьных исследований оптимальной является площадка не менее 100 м^2 .

Нельзя закладывать площадки на границе двух ассоциаций. Возможен выдел площадки вдоль какого-либо ориентира (тропы, просеки), но не менее чем в 20 м от него.

Правильная закладка площадки повышает точность геоботанического описания и обеспечивает *сравнимость* результатов, полученных на разных территориях и в разное время.

При детальном фитоценологических исследованиях закладывают несколько пробных площадок в пределах одной ассоциации. При мониторинге каждую площадку используют несколько лет.

Для облегчения работы площадку следует отметить колышками с натянутым на них шпагатом.

Физическая характеристика ассоциации. Сначала в бланке фиксируют *географическое положение* растительного сообщества: область, район, румб по

странам света, расстояние в километрах или в метрах от населённого пункта, реки, озера. *Рельеф* и *почву* описывают в отдельном бланке (см. 7.5).

Описание структуры фитоценоза. Оно включает общую характеристику вертикальной структуры сообщества и последовательное детальное описание каждого из выделенных ярусов.

1. Вертикальная структура. Наземные ярусы выделяют на основе различия между жизненными формами: первый ярус — древесный, второй — кустарниковый, третий — травяно-кустарничковый, четвёртый — мохово-лишайниковый. Внеярусная растительность — лишайники на стволах деревьев, мхи на пнях.

В основе выделения *подъярусов* лежат биологические особенности растений (характерная для вида высота ствола, роль в сообществе и др.). Например, в хвойном (сосново-еловом) лесу рябина входит в состав второго подъяруса первого яруса, потому что её кроны ниже крон елей и сосен (образуют первый подъярус) и она не является эдификатором.

В Ленинградской области преобладают хвойные леса, как правило, образованные елью. Еловые леса затенённые, поэтому малоярусные (2—4 яруса). Кустарниковый ярус обычно отсутствует.

2. Древостой (первый ярус). Сначала оценивают *сомкнутость крон*. Исследователь встаёт на середину площадки, смотрит вверх и примерно оценивает, какую часть неба, находящуюся в поле зрения, закрывают кроны. Сомкнутость древостоя выражают в долях от единицы (балла) или в процентах. В тёмном лесу сомкнутость крон составляет 0,8—0,9 балла, и травянисто-кустарничковый ярус почти неразвит. В светлом лесу — 0,4—0,5 балла. В редком лесу — 0,2—0,3 балла, и солнечный свет свободно достигает нижнего яруса.

Далее в бланке указывают, каким является древостой — *простым* (нет разделения на подъярусы) или *сложным* (внутри яруса можно выделить подъярусы). Древостой, в котором древесный ярус образован одной породой (одним видом), называют *чистым*. Если лесообразующих пород больше, то древостой *смешанный*. Также отмечают, является древостой *одновозрастным* или *разновозрастным* (этот показатель оценивают визуально). Условно одновозрастными считают деревья, у которых разница в возрасте составляет не более 20 лет. Такие деревья слабо различаются по толщине стволов, и древостой выглядит однородным.

Видовой состав определяют с помощью определителя и фиксируют в бланке. Кроме того, подсчитывают *число деревьев* каждого вида на обследуемом участке. По этим данным составляют *формулу древостоя*. Названия видов в формуле отмечают первой буквой: С — сосна, Е — ель, Р — рябина, Б — берёза, Ос — осина, Ол — ольха и т. п. Общее число деревьев на участке принимают за 10 единиц. Участие каждого вида выражают в долях от 10. Если участие вида не превышает 0,1, то в формуле этот вид отмечают знаком «+». Таким образом, формула древостоя 8С2Е+Б означает, что в составе древостоя 80% — сосны, 20% — ели и присутствуют берёзы.

Диаметр стволов измеряют с помощью сантиметровой ленты и в бланке отмечают амплитуду диаметра (наименьший и наибольший диаметры), а также средний диаметр (определяют визуально).

Высоту стволов измеряют косвенными методами. Исследователь берёт в вытянутую руку линейку известной длины (например, 50 см) и проецирует её на ствол измеряемого дерева. Затем, удерживая линейку в этом положении, удаляется от дерева на несколько метров так, чтобы концы линейки зрительно совместились с основанием и верхушкой ствола. После этого измеряют расстояние от исследователя до ствола дерева по прямой и рассчитывают высоту дерева по формуле:

$$H = \frac{h \cdot L}{l} + C,$$

где H — высота дерева, h — длина линейки, L — расстояние от ствола дерева до измеряющего, l — длина вытянутой руки, C — рост измеряющего.

В бланке отмечают амплитуду высоты (наименьшую и наибольшую высоту), а также среднюю высоту (определяют визуально).

Высоту прикрепления крон измеряют до первых живых ветвей с помощью сантиметра или косвенным методом (так же как высоту стволов).

Более или менее точный *возраст древостоя* оценивают по кернам¹ или сравнивая живые деревья со спиленными, если такие имеются на участке. Возраст последних определяют по годичным кольцам. Косвенные методы определения возраста применяют для сосны. Возраст равен числу мутовок боковых побегов на главном стволе плюс 10. Возраст ели определить косвенным способом сложнее, так как она образует ложные мутовки, поэтому оценка может быть менее точной.

Бонитет древостоя — это качественный показатель спелости древостоя, используемый в лесном хозяйстве. Он отражает скорость роста деревьев. Выделяют пять классов бонитета: I класс — высокие деревья (эталон — корабельные сосны), V класс — низкий древостой (например, сосна на болоте). Бонитет оценивают визуально.

Затем в описании отмечают наличие *повреждений древостоя* (следов короedов и других паразитов, пожара, поедов животными, рубки). Указывают число стоящих мёртвых деревьев (оценка обилия *сухостоя*) и число деревьев с отклонениями в развитии, например двуствольных, искривлённых, с нехарактерными утолщениями и т. д. (оценка обилия *фаута*).

Наконец, оценивают *возобновление древостоя* (качество и состав всходов и подростa лесообразующих видов) — важный показатель для составления

¹ Керн — цилиндрическая колонка, которую получают бурением ствола живого дерева специальным инструментом (буравом). По кернам в лесных хозяйствах определяют возраст деревьев и выявляют наличие гнили.

прогнозов о развитии леса. Например, хороший еловый подрост в берёзовом лесу обычно приводит к смене берёзового фитоценоза еловым. При описании указывают *видовой состав, возраст, высоту* (амплитуду высоты и среднюю высоту), *число растений каждого вида* на площадке, их *характер распределения* (равномерный или неравномерный), *происхождение* (искусственное семенное или естественное порослевое) и *состояние* (плохое, удовлетворительное, хорошее).

3. Кустарниковый ярус и подлесок (второй ярус). Если кустарниковый ярус имеется, то при его описании характеризуют *видовой состав, число кустов каждого вида, их высоту* (амплитуду высоты и среднюю высоту) и *фенофазу* (фазу жизненного цикла): вегетация — ВГ; бутонизация — БТ; начало цветения — НЦВ; полное цветение — ПЦВ; конец цветения — КЦВ; начало плодоношения — НПЛ; конец плодоношения — КПЛ; вегетация после плодоношения — ВГ/ПЛ; сухое растение — СУХ. Указывают *густоту яруса* в баллах:

одинокые кустарники	1 балл
кустарники располагаются группами, сплошного яруса не образуют	2 балла
плотная, труднопроходимая стена кустарников	3 балла

Кроме того, отмечают общее состояние кустарников (определяют визуально, как при оценивании подроста).

4. Травяно-кустарничковый покров (третий ярус). Сначала последовательно описывают *общий облик яруса* по трём показателям. Первый из них — *аспект* (внешний вид яруса) — зависит от видового разнообразия и фенофазы растений. Эту характеристику выражают, описывая окраску яруса. Например, в первой половине лета для некоторых участков ельника, соседствующего с верховым болотом, характерен зелёно-белый аспект: «на тёмно-зелёном фоне цветущей брусники выделяются белые пятна цветущего багульника и светло-зелёные пятна цветущей голубики». Аспект помогает быстро находить сходные сообщества при движении по мониторинговому маршруту и быстро сравнивать их.

Второй общий показатель — *густоту яруса* — оценивают визуально (густой или разреженный покров).

Третий показатель — *общее проективное покрытие* (площадь проекции наземных частей растений на почву). Данная характеристика отражает степень затенения почвы. Её оценивают визуально и выражают в процентах:

несомкнутый травяной покров, единичные растения	5—10%
между растениями — отчётливые промежутки	20—25%
хорошо сомкнутый покров, но наблюдаются просветы	30—50%
«ажурный» сомкнутый покров	60—70%
плотный многоярусный покров	100%

Видовой состав выясняют на месте. Если это невозможно, то образцы собирают в гербарные папки (с корнями и желательно с цветками) и определяют в лаборатории по определителям. Для каждого вида оценивают *среднюю высоту и фенофазу*.

Чтобы выяснить роль вида в сообществе, важно знать его *обилие*. Эту характеристику оценивают визуально по заселённости площадки представителями вида, для чего используют шкалу Друде (табл. 7.23).

Таблица 7.23

**Шкала Друде для оценки обилия вида
в фитоценозе по пробной площадке**

Степень обилия	Показатель обилия	Обозначение
Очень много	Вид явно преобладает над другими видами; особи образуют сплошной ковёр; их надземные части сомкнуты	<i>Soc (socialis)</i>
Весьма много	Особи многочисленны (50—60%), но сплошной ковёр не образуют, максимальное расстояние между растениями — не более 20 см	<i>Cop-3 (copiosae)</i>
Много	Особи многочисленны (более 30%), но вид не преобладает над другими; расстояние между растениями — 20—40 см	<i>Cop-2</i>
Довольно редко	Особи составляют около 20% от общего числа растений; расстояние между ними — от 40 см до 1 м	<i>Cop-1</i>
Редко	Особи рассеяны по участку в небольшом количестве, расстояние между растениями — 1—1,5 м	<i>Sp (sparsae)</i>
Единично	Особи малочисленны (5—10 экземпляров); расстояние между ними — более 1,5 м	<i>Sol (solitaria)</i>
Уникально	1—2 экземпляра на площадке	<i>Un (unicum)</i>

Для обильных видов (от *Cop-1* и выше) измеряют *проективное покрытие* с помощью сеточки Раменского или палетки (см. пример на с. 14, сопровождаемый рисунком 1.3).

Для всех видов определяют *характер распределения* (равномерный или неравномерный) и *жизненность*. Второй из показателей оценивают по трёхбалльной шкале:

полная жизненность (встречаются растения разных фенофаз) 3 балла
 средняя жизненность (наблюдается вегетация, плодов нет) 2 балла
 пониженная жизненность (рост и развитие угнетено) 1 балл

5. Мохово-лишайниковый покров (четвёртый ярус). *Общий облик* характеризуют, отмечая узор окрашивания (например: «на светло-зелёном фоне зелёных мхов выделяются жёлто-зелёные пятна сфагнума»). *Мощность покрова* измеряют линейкой, помещая её вертикально в слой мха. *Видовой состав* описывают с помощью определителя. *Обилие* видов определяют по шкале Друде (см. выше). *Проективное покрытие* оценивают с помощью сеточки Раменского или палетки: для мхов и наземных лишайников — в целом, и отдельно — для каждого из обильных видов (от *Cop-1* и выше). *Характер распределения* (равномерный или неравномерный) определяют визуально.

6. Внеярусная растительность (мхи и лишайники — эпифиты, лианы). В этой части описания указывают *видовое разнообразие*, *обилие*, отмечают *приуроченность* эпифитов к той или иной древесной породе.



ЛИТЕРАТУРА ПО ОБЪЕКТУ

1. Александрова Л. Н., Найденова О. А. Лабораторно-практические занятия по почвоведению. Л. : Агропромиздат, 1986.
2. Быстров А. А., Круберг Ю. К. Школьный определитель растений : пособие для учащихся. Л., 1947.
3. Варасова Н. Н., Шустова А. П. Физиология растений. Л. : Колос, 1969.
4. Горышина Т. К. Растение в городе. Л. : Изд-во ЛГУ, 1991.
5. Горышина Т. К. Экология растений : учеб. пособие для биол. специальностей ун-тов. М. : Высшая школа, 1979.
6. Горышина Т. К., Игнатьева М. Е. Ботанические экскурсии по городу. СПб. : Химиздат, 2000.
7. Доспехов Б. А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). М. : Агропромиздат, 1985.
8. Ильин В. Б. Тяжёлые металлы в системе «почва — растение». Новосибирск : Наука, 1991.
9. Ильин В. Б. Элементный химический состав растений. Новосибирск : Наука, 1985.

10. Комплексная экологическая практика школьников и студентов. Программы. Методики. Оснащение : учеб.-метод. пособие / под ред. проф. Л. А. Коробейниковой. СПб. : Крисмас+, 2002.
11. Константинов А. С. Общая гидробиология : учеб. для студентов биол. специальностей вузов. М. : Высшая школа, 1986.
12. Лакин Г. Ф. Биометрия : учеб. пособие для биол. специальностей вузов. М. : Высшая школа, 1990.
13. Лархер В. Экология растений. М. : Мир, 1978.
14. Пересыпкин В. Ф., Коваленко С. Н., Шелестова В. С., Асатур М. К. Практикум по методике опытного дела в защите растений. М. : Агропромиздат, 1989.
15. Практикум по биохимии растений / С. М. Щипарев, С. С. Медведев, Е. И. Шарова, О. В. Танкелюн ; под ред. В. В. Полевого, С. М. Щипарева. СПб. : Изд-во СПбГУ, 1996.
16. Практикум по физиологии растений : учеб. пособие для агроном. специальностей / Н. Н. Третьяков и др. ; под ред. Н. Н. Третьякова. М. : КолосС, 2003.
17. Практикум по физиологии растений : учеб. пособие для студентов высш. пед. учеб. заведений / В. Б. Иванов и др. М. : Академия, 2001.
18. Практикум по экологии : учеб. пособие / С. В. Алексеев, Н. В. Груздева, А. Г. Муравьев, Э. В. Гущина ; под общ. ред. С. В. Алексеева. М. : МДС, 1996.
19. Работнов Т. А. Экология луговых трав. М. : Изд-во МГУ, 1985.
20. Савицкая Н. Н. Практикум по экологической физиологии растений : пособие для учителя. СПб. : Изд-во ЛОИРО, 2001.
21. Фролов А. К. Окружающая среда крупного города и жизнь растений в нем. СПб., : Наука, 1979.
22. Шапиро Я. С. Биологическая химия : учеб. пособие. СПб. : Элби-СПб, 2003.
23. Шапиро Я. С. Микроорганизмы: вирусы, бактерии, грибы : учеб. пособие. СПб. : СПбГУ : Элби-СПб., 2004.
24. Яковлев Г. П., Аверьянов Л. В. Ботаника для учителя : в 2 ч. М. : Просвещение : Учебная литература, 1996—1997.

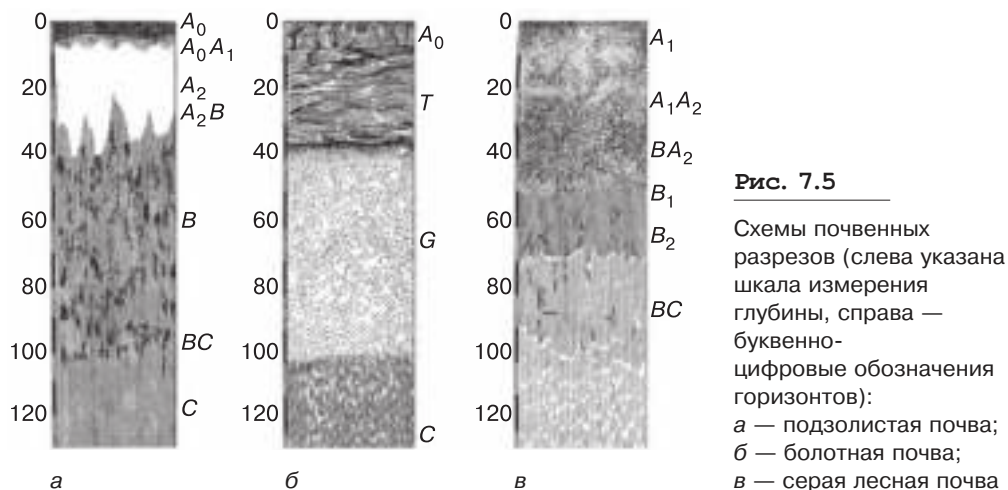
7.5. Объект исследования — почва

Общие характеристики объекта

Почва — достаточно сложный объект, сочетающий в себе признаки живой и неживой природы. Тем не менее при правильном выборе методик изучение почв может быть доступным для начинающего исследователя.

По мнению президента Международной ассоциации почвоведов А. Руэллана, «...если мы хотим говорить о почве с людьми, которые о ней ничего не знают, мы должны в первую очередь начинать с того, что достаточно легко наблюдать в почве — цвет, агрегаты, поры, корни...»¹. Уже эти простые сведения, полученные только путём *полевого наблюдения*, позволяют многое узнать о почве.

Вертикальная толща всякой почвы (до материнской породы), называемая *почвенным профилем*, расчленена на ряд *почвенных горизонтов* (почвенных слоёв различной окраски и структуры). В полевых наблюдениях почвенных объектов обычно закладывают так называемые *почвенные разрезы*. Их делят на *основные (глубокие)* глубиной до 150—300 см (рис. 7.5), *полуразрезы (полуямы)* глубиной до 75—100 см и *прикопки* (25—75 см). Понятно, что такие методы сложно использовать в школьной практике, но работа с верхними горизонтами почв вполне доступна.



Почвенные горизонты различаются по цвету, плотности, влажности, структуре, химическому составу, кислотности, солёности и другим характеристикам.

¹ Руэллан А. О научных основах почвоведения // Почвоведение. 1996. № 4.

Они представляют собой «отпечатки» процессов, протекающих в почве. Например, верхний горизонт свидетельствует об образовании гумуса. Горизонты, лежащие под ним, отражают изменения минеральной части почвы. В то же время кислотность, степень засоления, влажность, активность почвенных микроорганизмов, насыщенность органическими и минеральными веществами и другие свойства почв влияют на состав и структуру растительных сообществ, заселяющих данную местность.

Важная особенность почвы заключается в том, что её свойства сильно зависят от географического положения и других условий. Невозможно указать универсальные для всех местностей почвенные характеристики, с которыми можно было бы сопоставлять результаты исследования данного конкретного участка почвы. Поэтому при работе с почвами следует сравнивать между собой почвенные объекты определённой местности, например почвы, в разной степени подверженные антропогенному влиянию или развитые под лесом и под луговой растительностью и т. д.

Примерные направления исследований

1. Изучение почвенного профиля.
2. Оценка биологической активности почвы и модельные опыты по влиянию на неё различных факторов — температуры, влажности, наличия загрязнителей и т. д.
3. Изучение показателей кислотности почвы.
4. Изучение физических показателей почвы: влажности, плотности, пористости.
5. Обнаружение связи между физическими и химическими показателями почвы и состоянием развитой на ней растительности.

Техники отбора образцов для лабораторных исследований

При работе с верхними горизонтами почв образцы следует отбирать в 4–5-кратной повторяемости. На расстоянии нескольких шагов (по сторонам воображаемого квадрата и посередине него) изымают 4–5 проб на глубину, равную штыку лопаты. Верхнюю часть, представленную подстилкой (дёрном), обычно не используют для анализа. Если образцы отбирают из почвенного разреза, следует их изымать из средней части каждого горизонта и непременно записывать глубину взятия.

Подготовк почвы к н лизу

Образцы, доставленные в лабораторию, необходимо немедленно под-
вергнуть анализу или довести до *воздушно-сухого состояния* (большинство
опытов проводят на заранее собранных и высушенных образцах). Хранение
сырых образцов не допускается, так как под влиянием жизнедеятельности ми-
кроорганизмов, обитающих в субстрате, и тех, которые заселяются в него из
воздуха, свойства почвы изменяются.

Для подготовки воздушно-сухого образца каждую взятую пробу почвы рас-
сыпают тонким слоем на большом листе плотной бумаги. Пинцетом удаляют
корни и другие растительные остатки и, прикрыв сверху другим листом бумаги,
оставляют на 2—3 дня. Помещение для подготовки образцов должно быть су-
хим и защищенным от доступа аммиака, паров кислот и других газов.

Высушенный образец делят по диагонали на четыре части. Две противопо-
ложные части берут для растирания, а две другие сохраняют в неизменном со-
стоянии. Почву растирают в фарфоровой ступке пестиком и просеивают через
сито с отверстиями 1 мм. Растирание и просеивание повторяют до тех пор,
пока на сите не останутся лишь твёрдые каменные частицы крупнее 1 мм
(*скелет почвы*). Почву, пропущенную сквозь сито, хранят вместе с необрабо-
танными фрагментами в коробке или бумажном пакете.

Лесные подстилки и образцы торфа сушат в течение нескольких суток, так
как благодаря высокой влагоёмкости они содержат большое количество воды.
Все пробы раскладывают тонким слоем на больших листах бумаги в хорошо
вентилируемых помещениях, ежедневно многократно перемешивая. По окон-
чании просушивания образцы измельчают растиранием в фарфоровых ступ-
ках, затем просеивают через сито с отверстиями диаметром 2—3 мм. Затем бе-
рут один из образцов массой 50—200 г, вновь измельчают и просеивают через
сито с отверстиями диаметром 1 мм. Частицы, оставшиеся на сите, снова рас-
тирают и просеивают до тех пор, пока не будет просеян весь образец. Готовые
образцы хранят так же, как и образцы почв.

МЕТОДИКА: изучение почвенного профиля

Характеристики почвы, оцениваемые в исследовании

Цвет. Основными соединениями, обуславливающими цвет почвы,
являются: чёрные или коричневые гумусовые соединения; окисные соединения
железа и марганца, окрашенные в красные или оранжевые тона; закисные со-
единения железа (соединения двухвалентного железа), имеющие сизоватую или
голубоватую окраску; кремнезём, углекислая известь и каолинит, окрашенные
в белый цвет. Например, верхние горизонты почв почти всегда тёмно-серые
или коричневые, что свидетельствует о накоплении гумуса.

Обычно чем интенсивнее цвет, тем больше органических веществ в почве. Богатые гумусом горизонты называют *гумусово-аккумулятивными горизонтами*. В описании их обозначают латинской буквой *A* с индексом (см. рис. 7.5). Выделяют собственно гумусово-аккумулятивные горизонты (A_1), торфяные горизонты (A_T), дерновые (A_d), пахотные (A_n), лесные подстилки (A_0) и т. д.

Белесый цвет горизонта чаще всего связан с присутствием карбонатов (об их выявлении см. ниже). Вторая возможная причина — *внутрипочвенное выветривание*, при котором в горизонте накапливаются весьма устойчивые соединения кремния, а менее устойчивые соединения разрушаются и вымываются осадками в нижнюю часть почвенного профиля. Такие горизонты называют *подзолистыми* и обозначают A_2 . Они существенно обеднены элементами питания для растений. Горизонты с присутствием карбонатов получают дополнительный индекс «к» (например, A_k — верхний горизонт карбонатной почвы).

Горизонты ниже горизонта *A* — это *переходные горизонты*, свойства которых существенно зависят от свойств материнской породы (т. е. той, на которой сформировалась почва). Переходные горизонты обозначают латинской буквой *B*. В одном почвенном профиле может быть несколько переходных горизонтов — B_1 , B_2 и т. д. Материнскую породу обозначают буквой *C*.

Некоторые горизонты влажных почв (например, болотных) имеют сизоватый оттенок, что свидетельствует о накоплении соединений двухвалентного железа. Сизый или голубоватый оттенок почвы — признак переувлажнения. Такие горизонты называют *глеевыми*. При описании разрезов глеевый горизонт обозначают буквой *G*. Если пятна сизоватого цвета не образуют сплошного слоя, а встречаются разрозненно, то горизонт называют *оглеенным* и при описании разреза к основному обозначению (букве) добавляют индекс *g*. Например, оглеенный переходный горизонт болотной почвы обозначают B_g .

Красноватые горизонты характерны для почв, в которых накапливается железо. Иногда соединения трёхвалентного железа и марганца могут образовывать яркие пятна или «зёрна». Это также отмечают в бланке.

В почвенных профилях редко встречаются яркие и чистые цвета. Поэтому при описании окраски часто используют двойное название цвета, добавляют к названию «темно-» или «светло-», дополнительно детализируют, например «светло-серая с буроватым оттенком».

Переход одного горизонта в другой может быть постепенным, почти незаметным. Поэтому иногда выделяют двойные горизонты, например A_1A_2 , AB , BC и т. д.

Структура. *Структурой почвы* называют совокупность почвенных отдельных частей (*агрегатов*), состоящих из соединённых между собой частиц. В описании разреза отмечают размеры и форму агрегатов (рис. 7.6). *Кубовидной* называют структуру, в которой агрегаты имеют примерно одинаковые размеры по трём осям (т. е. выглядят как круглые комки, зёрна и т. д.).

У агрегатов *призмовидной* структуры размеры по вертикальной оси (т. е. в направлении «верх — низ» при расположении в почвенном профиле) превышают размеры по двум другим осям (т. е. образуют «столбики»). Агрегаты *плитовидной* структуры, наоборот, сжаты по горизонтальной оси (они выглядят как отдельные пластинки, чешуйки и т. д.).

Хорошо выраженные кубические агрегаты присутствуют в пахотной почве и являются признаком высокого плодородия. Агрегаты призмовидной структуры часто формируются при засолении почв, а плитовидной — при интенсивном вымывании минералов из почвенного горизонта.



Рис. 7.6

Основные типы почвенной структуры:
а — кубовидная;
б — призмовидная;
в — плитовидная

Сложение. Оно может быть *слитным* (очень плотным), *плотным*, *рыхлым* и *рассыпчатым*. При слитном сложении почвенный нож очень трудно воткнуть в горизонт, а сухой образец невозможно разломить руками. В горизонт с плотным сложением почвенный нож входит с усилием на 2—5 см, в рыхлый — на глубину 10—15 см. При рассыпчатом сложении отдельные почвенные частицы почти не связаны между собой и практически не создают препятствий для ножа.

Новообразования. В результате естественных процессов в почве формируются новообразования, отличающиеся от основной массы почвы по цвету и химическому составу. Например, часто встречаются новообразования, состоящие из соединений железа и марганца. Они имеют ржаво-бурый, охристый и чёрный цвет и встречаются в виде пятен, «зёрен» тёмного цвета или даже в виде почти сплошных, очень твёрдых прослоек. Ещё один распространённый тип новообразований — белые образования карбонатов. Они встречаются в виде пятен или заполняют почвенные поры, повторяя их форму.

Оглеение. Глеевый горизонт выявляют по наличию сизоватых или голубоватых пятен (см. выше).

Включения. Под включениями понимают инородные тела в профиле почв, например каменистые включения, остатки животных и растений (раковины, корни и т. д.), следы деятельности человека (обломки кирпича, кусочки угля, черепки посуды и т. п.).

Механический состав. Этим термином называют относительное содержание в почве почвенных частиц (механических элементов) различных размеров — от нескольких микрометров¹ до нескольких миллиметров. Методика определения механического состава приведена ниже (см. с. 327).

Мощность почвенных горизонтов. Толщину почвенных слоёв, различаемых по вышеперечисленным признакам, определяют с помощью сантиметровой ленты (см. далее).

Вскипание. Этот показатель свидетельствует о наличии в почве карбонатов (солей углекислого кальция), разрушающихся при взаимодействии с кислотой:



Углекислый газ выделяется из почвы в виде пузырьков с характерным шипением, а при небольшом количестве — с потрескиванием.

Техника закладки разреза

Оборудование: лопата штыковая, лопата совковая, три куса полиэтиленовой плёнки (примерно 2 × 2 м).

Как правило, если цель работы не предусматривает другое, почвенные разрезы закладывают в типичных для исследуемого участка условиях, в стороне от дорог, канав, бугров или западин, нехарактерных для данного участка. Данные полевых исследований заносят в специальный бланк (см. Приложение 4).

1. В начале работы наметить штыковой лопатой контур разреза (прямоугольник) длиной 90—100 см и шириной 60—70 см. Одна короткая сторона разреза служит лицевой стороной, по которой будет проводиться описание почвы. Эта сторона должна быть обращена к солнцу.
2. Квадратиками вынуть дёрн и отложить на заранее подготовленное место (на полиэтиленовую плёнку). По сторонам разреза поместить остальные два куска плёнки.
3. Углубить разрез на длину штыка лопаты, остатки почвы вынуть совковой лопатой. Гумусовый горизонт складывать по одну сторону разреза, нижние горизонты — по другую.
4. Лицевую стенку, а также две боковые делать совершенно отвесными. Со стороны, противоположной лицевой, оставить ступеньку шири-

¹ Один микрометр (мкм) — $1 \cdot 10^{-6}$ м.

ной примерно 30 см. На остальном пространстве разреза продолжить работу.

5. Когда разрез достигнет желаемой глубины, зачистить (выровнять с помощью лопаты) лицевую стенку.

Процедура описания разреза

Оборудование: сантиметровая лента, булавка, нож с широким лезвием, пузырёк с 10%-й соляной кислотой, ручка или карандаш, типовой бланк для описания почвенного разреза.

1. Осуществить привязку почвенного разреза к местности: зафиксировать в бланке область, район, румб по сторонам света, расстояние в километрах (метрах) от населённого пункта, реки, озера. Расстояние можно измерять шагами, заранее установив длину шага.
2. Охарактеризовать особенности рельефа:
 - ↳ *мезорельеф* — равнина, часть полого склона, западина и т. п.;
 - ↳ *микрорельеф* — элементы рельефа диаметром 2—50 м и высотой 1—1,5 м (бугры, блюдца и т. д.);
 - ↳ *нанорельеф* — элементы рельефа диаметром 10—200 см и высотой до 1 м (кочки осок, кротовины, припнёвые и приствольные возвышения и т. д.);
 - ↳ *степень каменистости* (определяют визуально, чаще — для пахотных почв) — если на поверхности пашни валуны (камни) составляют менее 10%, каменистость считают слабой, при 10—20% — средней, более 20% — сильной.
3. Составить *схему расположения разреза по рельефу*: начертить профиль участка и крестиком показать местоположение разреза.
4. Прикрепить к верхней части лицевой стенки разреза сантиметровую ленту так, чтобы её нулевое деление совпадало с верхним уровнем почвы, и измерить общую мощность профиля.
5. По цвету, сложению и другим признакам определить почвенные горизонты. Очертить их границы ножом. Измерить мощность каждого горизонта и зафиксировать результат в бланке.
6. Провести описание каждого горизонта по форме, указанной в *Приложении 4*. Для оценки структуры, механического состава и других характеристик почвы из середины каждого горизонта отобрать не-

большой образец (на ладонь). Для оценки присутствия карбонатов накапать на образец несколько капель соляной кислоты. Отметить присутствие новообразований и оглеения.

7. На бланке описания выполнить мазки: из каждого горизонта отобрать щепоть почвы и растереть её по бумаге в месте, соответствующем описанию горизонта. В результате на бумаге получится схематическое изображение профиля с естественной окраской горизонтов.
8. Закопать разрез: засыпать нижние горизонты, затем верхние и утрамбовать почву. После этого разместить в прежнем порядке снятый дёрн.
9. Определить рабочее название почвы при помощи специальной литературы, в которой описаны основные типы почвенных профилей (например, *Александрова Л. Н., Найденова О. А., 1986*).

МЕТОДИКА: определение уровня кислотности почвы (по водной суспензии)

Вводная информация

В зависимости от географического положения, климата, состава растительности, наличия водоёмов и близости подземных вод, влияния хозяйственной деятельности человека и других факторов в почвах устанавливается разный химический состав. От него зависит уровень кислотности почв. Во время дождя или при поливе ионы водорода, содержащиеся в почве, высвобождаются в почвенный раствор и поглощаются клетками и тканями живых существ. Многие из них очень чувствительны к концентрации протонов в среде и при отклонении уровня кислотности от нормы гибнут. Поэтому данный экологический фактор в значительной мере определяет состав и структуру растительного сообщества, а также характер использования территории человеком (анализ кислотности почв обязателен при ведении сельского хозяйства).

Для определения уровня pH почвы (табл. 7.24) готовят *водную суспензию* почвенного образца и измеряют её кислотность (pH_{H_2O}) с помощью pH-метра.

Таблица 7.24

Почвы с разным уровнем кислотности (по книге *Химический анализ почв*, 1995)

Пример	Градация кислотности	pH_{H_2O}
Подзолистые, дерново-подзолистые	Сильнокислые	3,0—4,5
Некоторые болотные	Кислые	4,5—5,5

Окончание табл. 7.24

Пример	Градация кислотности	pH _{H₂O}
Серые лесные	Слабокислые	5,5—6,5
Некоторые чернозёмы	Нейтральные	6,5—7,0
Горизонты чернозёмов, насыщенные карбонатами, каштановые, серозёмы	Слабощелочные	7,0—7,5
Солонцы	Щелочные	7,5—8,5
Почвы с содовым засолением	Сильнощелочные	> 8,5

С помощью этой методики можно сравнивать разные почвенные образцы, проверять прогнозы о пробах, взятых на территории города, и т. п.

Техника постановки опыта

Оборудование: образец почвы, дистиллированная вода (предварительно освобождённая от растворённого углекислого газа, с pH 6,6—6,8), мерные стаканы на 50 мл, пипетка (дозатор, мерный цилиндр), весы, сито с ячейкой 1 мм (если для опыта взят сырой образец), pH-метр со стеклянными электродами.

→ **Внимание!** Посуд, используемая в опыте, обязательно должна быть чистой, так как ничтожные примеси сильно изменяют величину pH_{H₂O}. При работе со стеклянной посудой и электроприборами соблюдайте технику безопасности (см. Приложение 2).

1. На технических весах взвесить 8—10 г почвы и поместить в стаканчики на 50 мл (если образец свежий, его перед этим нужно просеять через сито). Прилить пипеткой (дозатором, мерным цилиндром) 20—25 мл дистиллированной воды (соотношение почвы и воды в испытуемой водной суспензии должно составлять 1 : 2,5).
2. Содержимое стаканчиков перемешивать энергичными круговыми движениями в течение 5 мин. За это время в раствор из почвы переместятся катионы, в том числе *относительно свободные* ионы водорода, которые задают pH водной суспензии. Если перемешивание продолжить, между частицами почвы и жидкостью установятся обменные процессы: катионы раствора начнут вытеснять ионы водорода, которые *закреплены* на поверхности почвы, и те частично перейдут в раствор, изменяя его кислотность. Чтобы это исключить,

необходимо по истечении указанного времени сразу же измерить рН водной суспензии.

- Поместить электроды рН-метра непосредственно в стаканчики с почвенной взвесью. Записать показания прибора с точностью до 0,01 единицы рН. После измерения электроды обмыть дистиллированной водой и вернуть в специальный сосуд, где они хранятся. Прибор выключить.

МЕТОДИКА: определение рН солевой вытяжки

Вводная информация

При изучении почв с рН менее 7 часто необходим более детальный анализ, чем измерение кислотности почвы по её водной суспензии (см. предыдущую методику). Для этого готовят так называемую *солевою вытяжку* из образцов и определяют её кислотность (табл. 7.25). Почву обрабатывают раствором соли, образованной сильным основанием и сильной кислотой (например, хлоридом калия). Катионы металла, образовавшиеся при растворении соли, поглощаются почвенными частицами и вытесняют ионы водорода, закреплённые на поверхности почвы. Протоны переходят в вытяжку и становятся доступными для оценивания.

Таблица 7.25

Кислотность солевых вытяжек почв (по книге *Химический анализ почв*, 1995)

Группа почв	рН солевой вытяжки (KCl)
Сильнокислые	< 4,5
Среднекислые	4,6—5,0
Слабокислые	5,1—5,5
Близкие к нейтральным	> 5,6

Анализ уровня кислотности солевой вытяжки (pH_{KCl}) полезен в научных и в прикладных целях, так как аналогичный обменный процесс протекает в природе при увлажнении засоленных почв или почв, обогащённых минеральными удобрениями. Кроме того, по величине pH_{KCl} косвенно судят об условиях образования торфа: верховой торф имеет pH_{KCl} , равный 2,5—4,0, для переходного торфа характерно значение 4,0—6,0, для нижнего торфа — 4,5—7,5.

Техника постановки опыта

Оборудование: образец почвы, весы, 1 М раствор KCl (pH — 6,0), сито с ячейкой 1 мм (если для опыта взят сырой образец), мерные стаканы на 50 мл, тщательно промытые водой и ополоснутые раствором хлорида калия, пипетка (дозатор, мерный цилиндр), предметные стёкла, pH-метр.

1. Для получения солевой вытяжки на технических весах взвесить 8—10 г почвы (предварительно пропущенной через сито, если почва свежая) и поместить в подготовленные мерные стаканы. Пипеткой (дозатором, мерным цилиндром) прилить 20—25 мл раствора KCl. Суспензию энергично взбалтывать круговыми движениями в течение 5 мин. Накрыть стаканы чистыми предметными стеклами и оставить до следующего дня. В течение суток ионы K^+ вытеснят H^+ -ионы из почвы в раствор.
2. На следующий день измерить pH_{KCl} с помощью pH-метра (см. п. 3 описания предыдущей методики).

МЕТОДИКА: изучение биологической активности почвы

Вводная информация

Состав, разнообразие и активность почвенных микробиоценозов — важная характеристика почвы. Жизнедеятельность микроорганизмов, обитающих в почве, обеспечивает её плодородие, а следовательно, и благоприятные условия для жизни растений.

Почвенные микробиоценозы очень чувствительны к изменению экологических условий, к наличию загрязнителей, внесению минеральных и органических удобрений. Уровень их активности и численность служат индикатором благополучия почвенной среды.

В отличие от таких свойств почвы, как, например, состав, структура, pH и содержание гумуса, *биологическая активность почвы* не зависит от происхождения и типа почвы, что позволяет сравнивать пробы, взятые с разных территорий. Эта особенность очень важна для исследования городских почв, так как в условиях городов даже небольшие участки существенно различаются по происхождению, физическим и химическим показателям.

Общую биологическую активность почвы можно оценить по активности ферментов, вырабатываемых почвенными грибами и микроорганизмами во внешнюю среду, т. е. по так называемой *протеазной активности*¹.

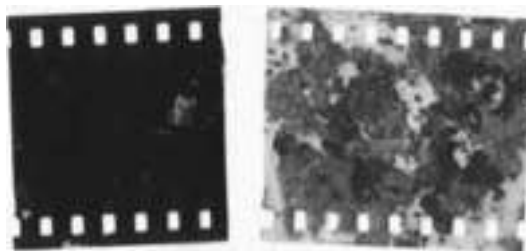
¹ Протеазы — ферменты, вырабатываемые и выделяемые микроорганизмами во внешнюю среду для переработки (разложения) белков.

Техника постановки опыта

Оборудование: воздушно-сухой образец почвы, коробки или банки для компостирования образцов, неиспользованная засвеченная фотоплёнка, дистиллированная вода, фотоувеличитель и люксметр или палетка (прозрачная плёнка, расчерченная на равные квадраты со стороной 0,5 см).

1. Отобранный образец (примерно 300—500 г) поместить в ёмкость для компостирования и довести влажность почвы до оптимальной: вливать дистиллированную воду частями и размешивать до образования крупных почвенных комочков. В момент, когда они начнут распадаться на более мелкие агрегаты, прекратить добавление воды.
2. Нарезанную по 2—3 кадра фотоплёнку уложить на дно коробки (банки) эмульсионным (светлым) слоем вверх. Фотоплёнку лучше сначала замочить в дистиллированной воде на 10—15 мин.
3. Произвести компостирование образца: выдерживать ёмкость с образцом при комнатной температуре 10—14 дней, регулярно увлажняя почву. В течение этого времени эмульсионный слой плёнки будет разрушаться под действием протеаз, выделяемых грибами и микроорганизмами в почву.
4. По окончании компостирования плёнку осторожно вынуть и промыть под струей воды (не тереть!), после чего высушить.
5. Произвести подсчёт доли (в процентах) разрушенного протеазами эмульсионного слоя (рис. 7.7) при помощи фотоувеличителя и люксметра (вариант «А») или палетки (вариант «Б»).

А. Включить приборы. При помощи люксметра измерить освещённость стола под фотоувеличителем (желательно, чтобы помещение было затенено) при закрытом затворе (принять за 0%) и при открытом затворе без плёнки (принять за 100%). Фрагменты фотоплёнки по одному поместить в кадроводержатель фотоувеличителя, измерить освещённость стола, рассчитать долю разрушенного слоя.



а

б

Рис. 7.7

Внешний вид фотоплёнки после компостирования и промывания при разных значениях протеазной активности почвенных грибов и микроорганизмов: а — при 5%; б — при 40%

Б. На каждый фрагмент плёнки поочередно наложить палетку, подсчитать количество светлых квадратов и вычислить (в процентах) долю разрушенного эмульсионного слоя.

МЕТОДИКА: определение механического состава почвы

Вводная информация

В почвенных исследованиях механический состав почвы оценивают по содержанию в ней обособленных частиц различных размеров. Частицы крупнее 0,01 мм объединяют во фракцию *физического песка*, частицы мельче 0,01 мм — во фракцию *физической глины*. По соотношению этих фракций почвы делят на *песчаные, супесчаные, суглинистые и глинистые*. В каждой группе есть более мелкие подразделения (например, лёгкие, средние и тяжёлые суглинки).

Определение механического состава почв очень важно для оценки экологических и сельскохозяйственных характеристик. Известно, что песчаные почвы (содержание глинистых частиц менее 10%) обычно бедны питательными элементами для растений, плохо удерживают влагу, быстро и глубоко промерзают, неблагоприятны для развития почвенных бактерий. Загрязнители (например, тяжёлые металлы или пестициды), попавшие в песчаную почву, ею практически не удерживаются и легко переходят в природные воды и растения.

Почвы, содержащие преимущественно глинистые частицы (от 50 до 85%), также имеют отрицательные свойства: сильно набухают во время дождя, долго удерживают влагу на поверхности и не пропускают её к корням растений, как правило, имеют мало промежутков, заполненных воздухом, необходимым для почвенных обитателей.

Наиболее благоприятны по свойствам супесчаные почвы (содержание глины — 10—20%) и суглинистые почвы (содержание глины — 20—30% в *лёгком суглинке*, 30—40% — в *среднем суглинке*, 40—50% — в *тяжёлом суглинке*). Эти почвы хорошо впитывают и удерживают влагу в толще почвы, а не на поверхности, содержат питательные элементы в форме, доступной для растений, и препятствуют их вымыванию, богаты микроорганизмами.

Техника постановки опыта

Оборудование: воздушно-сухой образец почвы, лупа, фарфоровая чашка, фарфоровая ступка.

1. Небольшое количество почвы осторожно растереть в фарфоровой ступке. Это необходимо для того, чтобы разрушить почвенные агрегаты, т. е. разделить отдельные слипшиеся частички.
2. Растёртую почву поместить на лист белой бумаги и с помощью лупы определить наличие или отсутствие песчаных частиц. Частицы менее

- 0,01 мм с помощью лупы различить нельзя, поэтому глинистые частицы выглядят как однородный порошок.
- Ещё одну порцию почвы (примерно 8—10 г) насыпать в фарфоровую чашку и осторожно смачивать водой до тестообразного состояния. Воду приливать постепенно, наблюдая за полным впитыванием каждой порции, тщательно размешивая её с почвой до получения как можно более вязкого «теста». При избытке воды масса почвы становится жидкой и текучей, расплывается. В таком случае следует добавить ещё одну порцию почвы.
 - Из полученного «теста» скатать шарик диаметром 1,5—2 см и растянуть его в жгут. Соотнести наблюдаемое с данными таблицы 7.26 и определить механический состав почвы.

Таблица 7.26

Определение механического состава почвы

Механический состав	Вид в лупу	При скатывании
Песчаный	Состоит почти исключительно из песчаных зёрен	Не скатывается в шарик
Супесчаный	Преобладают песчаные частицы с небольшой примесью глины	Не скатывается, но лепится в непрочные шарики
Легкосуглинистый	Среди глинистых частиц преобладают песчаные частицы	Образует непрочный шарик, в жгут не раскатывается, образует отдельные колбаски или цилиндрики
Среднесуглинистый	Среди глинистых частиц заметны песчаные частицы	Образует сплошной жгут, который при сгибании в кольцо разламывается
Тяжелосуглинистый	Крупные песчаные зёрна отсутствуют	Образует длинный жгут, который при сгибании в кольцо даёт несколько трещин
Глинистый	Песчаные зёрна отсутствуют	Даёт гладкий шарик и длинный жгут

МЕТОДИКА: определение водопрочности структуры почвы

Вводная информация

Чрезвычайно важным свойством почвенной структуры является её *водопрочность* — устойчивость почвенных агрегатов против размывающего действия воды (о структуре почвы см. в методике изучения почвенного профиля). Водопрочная структура почвы обеспечивает благоприятные условия для растений — достаточное количество влаги, воздуха и питательных веществ. Если структура почвы неводопрочная, то при осадках возникает *заиливание* (в просторечии — образуется «грязь непролазная»), а при высыхании почва может даже растрескиваться.

Техника постановки опыта

Оборудование: воздушно-сухой образец почвы, фильтровальная бумага или ткань 15 × 15 см, расчерченная на квадраты со стороной 1 см; подставка (например, перевёрнутое сито), кристаллизатор.

1. Отобрать 100 почвенных агрегатов примерно одинакового размера и поместить по одному в каждый квадратик на ткань или бумагу, уложенную на подставку так, чтобы края свисали (рис. 7.8, а).
2. Подставку поместить в кристаллизатор, наполненный водой таким образом, чтобы смачивались свободные края ткани или бумаги. Выждать три минуты, чтобы почвенные агрегаты насытились влагой.
3. Долить в кристаллизатор воды так, чтобы агрегаты были накрыты слоем толщиной 0,5 см. С этого момента начинается учёт водопрочности агрегатов.
4. На странице рабочей тетради, где расчерчена такая же сетка, как и на ткани (бумаге), в соответствующих клетках проставлять время расплывания того или иного агрегата. Общая продолжительность опыта — 10 мин. Пометкой «10 мин» обозначить и совсем распавшиеся на 10-й минуте агрегаты, и частично распавшиеся (рис. 7.8, б).
5. Для каждой минуты опыта подсчитать распавшиеся агрегаты (n_p), а также агрегаты, не распавшиеся в опыте (n_c), и занести полученные данные в таблицу (табл. 7.27). За общее число агрегатов, распавшихся на 10-й минуте, принять сумму распавшихся за это время агрегатов и половины частично распавшихся.

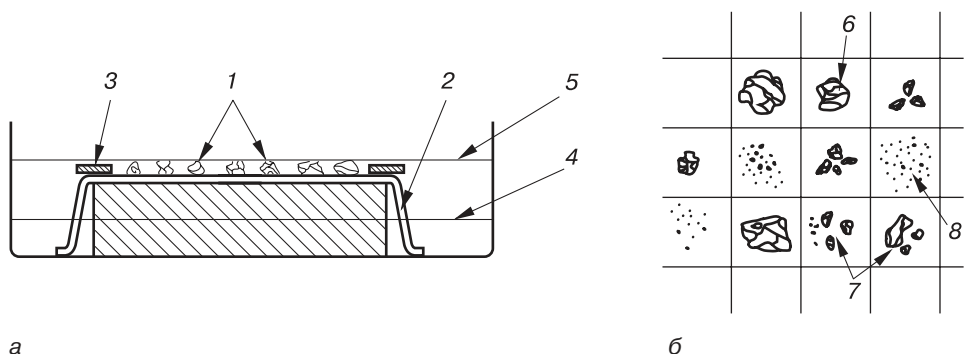


Рис. 7.8

Схема опыта по определению водопрочности агрегатов: а — приспособление для увлажнения агрегатов; б — участок фильтра с агрегатами: 1 — почвенные агрегаты; 2 — фильтровальная бумага или ткань; 3 — грузик; 4 — начальный уровень воды; 5 — уровень воды в опыте; б — нераспавшиеся агрегаты; 7 — частично распавшиеся агрегаты; 8 — полностью распавшиеся агрегаты

Таблица 7.27

Динамика разрушения агрегатов при размокании в воде
(по Андрианову-Качинскому)

Время отсчёта, мин	k	n_p	$n_p \cdot k$
1	5		
2	15		
3	25		
4	35		
5	45		
6	55		
7	65		
8	75		
9	85		
10	95		
Σ			

Примечание. Поправочный коэффициент (k) позволяет сравнивать агрегаты, распа-
дающиеся в разное время. Например, если k равно 100, это означает, что агрегат, который
не распался после 10 мин замачивания, в 100 раз прочнее того, который распался сразу.

6. Рассчитать *показатель водопрочности* (ПВ). Он равен отношению общего числа распавшихся в опыте агрегатов с учётом поправочного коэффициента к изначальному числу агрегатов — n (согласно предлагаемой методике n равно 100):

$$\text{ПВ} = \frac{\sum n_p k}{n}.$$

Водопрочность почвенных агрегатов выражают в процентах. При ПВ, равном 50, говорят, что наблюдается 50%-я водопрочность агрегатов, при ПВ, равном 40, — что 40%-я и т. д.

МЕТОДИКА: определение объёмной массы почвы

Вводная информация

Объёмная масса почвы — масса 1 см³ сухой, не нарушенной посторонним вмешательством почвы. Данный показатель зависит от обилия органического вещества и пористости почвы, а также от соотношения в ней различных по составу и размеру частиц фракций (песка, глины).

Песчаные почвы (см. методику определения механического состава почвы) содержат малое количество органического вещества, они более плотные и состоят из мелких однородных частиц. Поэтому объёмная масса таких почв всегда больше, чем *суглинков* с большим содержанием перегноя и хорошо выраженной разнородной структурой. Слой почвы, подвергаемый ежегодному рыхлению (так называемый *пахотный горизонт*), имеет меньшую объёмную массу, чем более плотные (менее пористые) *подпахотные горизонты*.

Объёмная масса почвы колеблется в пределах 1—1,8 г/см³. Богатые гумусом почвы имеют объёмную массу около 1,2—1,4 г/см³, безгумусные слои — около 1,6—1,8 г/см³. Объёмная масса торфяных горизонтов — менее 1 г/см³.

Техника постановки опыта

Оборудование: металлические бюксы¹ для отбора почвенных образцов, лопата, нож с широким лезвием, технические весы, термостат.

1. В лаборатории бюксы взвесить, определить их объём и подписать цилиндры и крышки к ним.
2. В поле отобрать образец почвы. Для этого лопатой очистить площадку от растений и обнажить верхний почвенный горизонт. На его поверхность установить открытый, перевёрнутый вверх дном бюкс и постепенно добиться его полного погружения в почву. Лопатой снять

¹ Высокие прочные металлические цилиндры с крышками.

слой почвы вокруг бюкса и осторожно ножом срезать цилиндр с почвой. Закрыть его крышкой, чтобы почва не высыпалась по пути. Таким образом отобрать 3—4 пробы на одном участке (предположительно с одним типом почв).

3. В лаборатории открыть крышки, взвесить бюксы с почвой и поместить их в термостат для высушивания до тех пор, пока масса бюксов при каждом следующем взвешивании не перестанет уменьшаться (допустимы незначительные колебания на 0,01—0,02 г).
4. Рассчитать объёмную массу почвы (d) по формуле:

$$d = \frac{m}{V},$$

где m — масса сухой почвы в цилиндре, г; V — объём цилиндра, см³.



ЛИТЕРАТУРА ПО ОБЪЕКТУ

1. Александрова Л. Н., Найденова О. А. Лабораторно-практические занятия по почвоведению. Л. : Колос, 1986.
2. Аринушкина Е. В. Руководство по химическому анализу почв. М. : МГУ, 1970.
3. Доспехов Б. А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). М. : Агропромиздат, 1985.
4. Земледелие / С.А. Воробьев, А.Н. Каштанов, А.М. Лыков, И.П. Макаров ; под ред. С.А. Воробьева. М. : Агропромиздат, 1991.
5. Мишустин Е. Н., Никитин Д. И., Востров И. В. Прямой метод определения суммарной протеазной активности // Доклады симп. по ферментам почвы АН БССР. Минск, 1968.
6. Растворова О. Г. Физика почв (практическое руководство). Л. : Изд-во Ленинградского ун-та, 1983.
7. Химический анализ почв : учеб. пособие / О. Г. Растворова, П. Д. Андреев, Э. И. Гагарина, Г. А. Касаткина, Н. Н. Фёдорова. СПб. : Изд-во СПбГУ, 1995.

Словарь научных терминов

АБИОГЕННЫЙ (от греч. *a* — без, не; *bíos* — жизнь и *génus* — род, происхождение) — порождённый деятельностью неживой природы, имеющий неорганическое, неживое происхождение. *Ср.* Биогенный.

АБИОТИЧЕСКИЙ (от греч. *a* — без, не и *biotikos* — жизненный) — неживой; небиологический.

АБОРИГЕН (от лат. *ab origine* — от начала) — *то же, что* Автохтон.

АВТОТРОФНЫЙ (от греч. *autós* — сам и *trophē* — пища) — подразумевающий синтез органических веществ из неорганических соединений (например, углеводов из CO_2 и воды). *А.* организм, *А.* вид (автотроф) синтезирует органические вещества из неорганических с использованием энергии Солнца (гелиотроф) или энергии, освобождающейся при химических реакциях (хемотроф). В сообществах автотрофы являются продуцентами. *А.* питание — тип питания, характерный для автотрофов.

АВТОХОР — растение (вид растений), способное к автохории.

АВТОХОРИЯ (от греч. *autós* — сам и *chōréō* — продвигаюсь) — распространение семян растений без участия каких-либо переносчиков: под действием силы тяжести (**барохория** — например, дуб), путём зарывания в почву (геокарпия — арахис) или путём разбрасывания (механохория — жёлтая акация, бешеный огурец). *Ср.* Аллохория.

АВТОХТОН (от греч. *autós* — сам и *chthones* — житель), абориген — совокупность организмов (вид), возникшая в процессе эволюции в данной местности и живущая в ней в настоящее время. Так, утконос и эвкалипт являются *А.* Австралии, а муравьеды, ленивцы и дикий картофель — *А.* Южной Америки. *Ср.* Аллохтон.

АГАР (agar-agar) — вещество, добываемое из морских красных водорослей родов *Eucheuma* и *Gelidium* и образующее в водных растворах плотный студень. *А.* применяют в кондитерской промышленности и для приготовления микробиологических питательных сред.

АГРОЭКОСИСТЕМА (от лат. *agrarius* — земельный, греч. *óikos* — дом, родина и греч. *sýstēma* — целое, составленное из частей) — преобразованное из естественного и регулярно поддерживаемое человеком сообщество организмов (огород, пастбище, пашня).

АДАПТАЦИЯ (от лат. *adaptatio* или *adaptare* — приспособлять) — комплекс морфофизиологических, поведенческих и информационно-биоценотических особенностей особи, популяции, вида или сообщества, обеспечивающий им успех в конкуренции с другими особями, популяциями, видами и сообществами и устойчивость к воздействиям факторов среды.

АДАПТИВНЫЙ (от лат. *adapto* — приспособляю) — приспособительный, связанный с выработкой адаптаций (приспособлений) к условиям местобитания.

АДДИТИВНОЕ ДЕЙСТВИЕ (от англ. *add* — добавлять, прибавлять) — совместное действие двух и более факторов, при котором эффекты их влияний суммируются, т. е. общее воздействие всех факторов равно сумме воздействий каждого из факторов. Ср. Синергическое действие.

АККЛИМАТИЗАЦИЯ (от лат. *ad* — к, для и греч. *klima* — климат) — приспособление организма к новым условиям среды за пределами своего ареала (или при смене условий среды внутри ареала).

АЛЛЕЛЬ (от греч. *allēlōn* — друг друга, взаимно) — гены, расположенные в одинаковых участках гомологичных хромосом и определяющие направление развития одного и того же признака.

АЛЛЕРГИЯ (от греч. *allos* — другой и *ergon* — действие) — состояние повышенной чувствительности организма к тому или иному веществу (называемому в этом случае аллергеном).

АЛЛОМОН (от греч. *allos* — другой и *hormao* — привожу в движение, возбуждаю) — биологически активное вещество, выделяемое организмами во внешнюю среду и служащее для воздействия на поведение особей других видов, например, цветочные запахи привлекают насекомых.

АЛЛОХОР — растение (вид растения), способное к аллохории.

АЛЛОХОРИЯ (от греч. *allos* — другой и *choros* — место) — распространение семян с помощью внешних агентов-переносчиков: ветра (анемохория), воды (гидрохория), животных (зоохория), человека (антропохория).

АЛЛОХТОН (от греч. *allos* — другой и *chthones* — житель) — совокупность организмов (вид), обитающая в определённой местности, но эволюционно (см. Эволюция) возникшая за её пределами (например, собака динго, внедрившаяся в австралийскую фауну).

АНАБИОЗ (от греч. *ana-* — вновь и *bíos* — жизнь) — состояние организма, при котором процессы жизнедеятельности настолько замедлены, что отсутствуют видимые признаки жизни. А. является приспособлением для переживания наиболее неблагоприятных условий (чаще всего похолодания или засухи). К А. способны вирусы, находящиеся вне клетки, большинство бактерий, многие беспозвоночные, некоторые земноводные и пресмыкающиеся. Большое сходство с А. имеет спячка млекопитающих.

АНАЭРОБНЫЙ (от греч. *an* (приставка) — не, без и *aer* — воздух) — процесс или организм (в этом случае говорят «анаэроб»), который не нуждается в кислороде (факультативный анаэроб) или не может существовать в его присутствии (облигатный анаэроб).

АНТАГОНИСТИЧЕСКОЕ ДЕЙСТВИЕ (от греч. *antagónisma* — спор, борьба) — взаимоисключающее или взаимопогашающее совместное действие

факторов, при котором суммарное воздействие нескольких факторов меньше простой суммы воздействий каждого из факторов.

АНТИБИОТИК (от греч. *anti* — против и *bios* — жизнь) — вещество биологического происхождения, синтезируемое микроорганизмом, или искусственное вещество, синтезируемое в лаборатории. А. подавляют рост бактерий, вирусов и клеток многоклеточных организмов. Иногда к А. относят также вещества с антибактериальными свойствами, извлекаемые из растительных и животных тканей.

АНТИМУТАГЕН (от греч. *anti* — против, *mutatio* — изменение, перемена и *genesis* — происхождение, возникновение) — фактор, понижающий частоту возникновения мутаций (сильные восстановители, спирты, карбонаты и др.).

АПОФИТ — местный вид (подвид и т. п.) растений, перешедший из естественного местообитания на территорию хозяйственной деятельности человека (например, васильки, маки).

АРЕАЛ (от лат. *area* — площадь, пространство) — область распространения любой систематической группы организмов (вида, рода, семейства) или определённого сообщества организмов.

АРИДНЫЙ (от лат. *aridus* — сухой) — формирующийся в условиях А. климата, существующего в областях с недостаточным атмосферным увлажнением и высокими температурами воздуха, испытывающими большие суточные колебания (например, А. территория, ландшафт или растительность). В условиях А. климата преобладают ландшафты пустынь и полупустынь.

АТТРАКТАНТ (от лат. *attraho* — притягиваю к себе) — природное или синтетическое вещество, привлекающее животных. Особенно чувствительны к А. насекомые. Известны половые, пищевые А. и А. для маркировки субстрата перед откладкой яиц. Люди могут использовать А. для привлечения живых организмов с целью их наблюдения, поимки или уничтожения.

АУКСОТРОФ (от греч. *auxo* — выращиваю, увеличиваю и *trophe* — питание) — представитель совокупности организмов (вида), утративших способность самостоятельно синтезировать какие-либо необходимые вещества. А. являются многие паразиты и симбионты, получающие ряд готовых соединений от организмов-хозяев.

БИОГЕННЫЙ (от греч. *bios* — жизнь и *genus* — род, происхождение) — порождающий жизнь. **Б. элемент** — химический элемент, обязательно входящий в состав живых организмов и выполняющий определённые биологические функции (например, углерод, кислород, азот, железо, натрий, калий, кальций, иод и т. д.).

БИОИНДИКАТОР (от греч. *bios* — жизнь и лат. *indico* — указываю, «определяю») — группа особей одного вида или сообщество, по наличию, состоянию и поведению которых судят об изменениях в окружающей среде (например, о присутствии и концентрации загрязнителей).

БИОИНДИКАЦИЯ (от греч. *bíos* — жизнь и лат. *indico* — указываю, «определяю») — оценка состояния окружающей среды по ответной реакции биоиндикаторов. В зависимости от свойств используемого биоиндикатора различают: специфическую Б., когда различные исследуемые факторы вызывают одни и те же ответные реакции у биоиндикатора; неспецифическую Б., когда по реакции биоиндикатора можно определить, какой именно фактор её вызвал.

БИОКОСНЫЙ (от греч. *bíos* — жизнь и -косный) — созданный совместной деятельностью живых организмов и абиогенных процессов и состоящий из биогенных компонентов и косного вещества (например, почва, сапропель, торф и т. д.).

БИОЛОГИЧЕСКОЕ РАЗНООБРАЗИЕ — разнообразие видов (родов, семейств, отрядов и т. д.), жизненных форм в экосистеме; в составе Б. р. выделяют Б. р. растений, Б. р. животных, Б. р. микроорганизмов.

БИОМ (от греч. *bíos* — жизнь и лат. *-oma* (окончание, означающее «совокупность»), — крупная биологическая система, слагаемая биогеоценозами, для которой характерен единый (основной) тип растительности (например, тайга Западной Сибири, смешанные леса Европы) или другие общие особенности.

БИОМАССА (от греч. *bíos* — жизнь и *massa* — слиток, глыба, кусок) — масса живых организмов, существующих на определённой площади или в определённом объёме. Б. выражают в единицах массы, отнесённых к единице площади или объёма. Выделяют Б. консументов, Б. продуцентов, Б. редуцентов и т. п.

БИОМОРФА — см. Жизненная форма.

БИОСФЕРА (от греч. *bíos* — жизнь, *sphaira* — шар) — оболочка Земли, включающая нижнюю часть атмосферы, гидросферу и верхний слой литосферы. Круговорот энергии в Б. полностью зависит от существования в ней жизни. Химический состав и строение Б. определены деятельностью в ней совокупности всех живых организмов. Б. является биологической системой наиболее высокого ранга.

ВЕГЕТАЦИОННЫЙ МЕТОД (вегетационный опыт) (от лат. *vegetatio* — возбуждение, оживление) — выращивание растений в стеклянных домиках, оранжереях, теплицах, климатических камерах и других сооружениях, в которых создают определённые условия для произрастания растений в течение одного или нескольких вегетационных периодов.

ВЕГЕТАЦИОННЫЙ ПЕРИОД (от лат. *vegetatio* — возбуждение, «оживление») — период года, в который возможна вегетация растений в данных климатических условиях. В. п. — важнейший биоклиматический показатель.

ВЕГЕТАЦИЯ (от лат. *vegetatio* — возбуждение, оживление) — состояние активной жизнедеятельности, роста и развития растения.

ВИЗУАЛЬНЫЙ (от лат. *visualis* — зрительный) — основанный на восприятии объекта при помощи органа зрения — глаза. В. **наблюдение** — наблю-

дение того или иного явления непосредственно глазом, хотя бы и вооружённым прибором.

ВИОЛЕНТ (от лат. *violent* — неистовый) — растение (вид растений) — сильный конкурент, отличающийся высокой специализацией и способный максимально использовать возможности экологической ниши. Для В. характерны большая продолжительность жизни, крупные размеры, относительно медленное развитие. В сукцессиях (см. 4.3) В. преобладают на последних стадиях развития сообщества (например, бук в зрелом буковом лесу). Среди В. чаще встречаются деревья, реже — кустарники и травы. *Ср.* Пациент и Эксплерент.

ВЛАЖНОСТЬ ПОЧВЫ — количество влаги в почве, выраженное в процентах от массы сухой почвы (массовая В. п.) или от объёма почвы (объёмная В. п.); от соотношения влаги и воздуха в почве зависит в значительной степени рост и развитие растений.

ВОДОРОДНЫЙ ПОКАЗАТЕЛЬ (обозначают рН — по первым латинским буквам словосочетания «потенциал водорода») — отрицательный десятичный логарифм ($-\log_{10} = -\lg$) концентрации катионов водорода $[H^+]$, выраженной в моль/л. В нейтральном растворе, почве и т. д. $[H^+] = [H_3O^+] = 10^{-7}$ моль/л, и $pH = -\lg [10^{-7}] = 7$. В кислых растворах концентрация катионов водорода больше 10^{-7} моль/л ($pH < 7$), в щелочных растворах $[H^+]$ меньше 10^{-7} моль/л ($pH > 7$). Измерение В. п. обычно проводят потенциометрическим методом.

ГАПЛОИДНЫЙ НАБОР ХРОМОСОМ (от греч. *haplós* — одиночный, простой, ординарный и *éidos* — вид) — характерный для данного вида набор хромосом, в котором каждая хромосома представлена в единичном экземпляре, т. е. в Г. н. х. отсутствуют гомологичные хромосомы. Г. н. х. в клетках организмов одного вида называют основным или базовым. Он характерен для зрелых половых клеток животных, клеток слоевища многих водорослей и т. д. *См. также* Геном. *Ср.* Диплоидный набор хромосом.

ГЕЛИОТРОФ (от греч. *hélíos* — солнце и *trophē* — пища) — автотрофный организм (вид организмов), синтезирующий органические вещества из неорганических в процессе фотосинтеза за счёт энергии солнечного света.

ГЕМИКРИПТОФИТ — см. Жизненная форма.

ГЕН (от греч. *génus* — род, происхождение) — элементарная единица наследственности; расположенный в хромосоме участок ДНК (у некоторых вирусов — РНК), обуславливающий передачу наследственной информации. Каждый Г. определяет строение одного белка живой клетки и тем самым участвует в формировании признака или свойства организма. *См. также* Аллель.

ГЕНОМ (от нем. *Genom* или англ. *genome*) — совокупность генов, содержащихся в гаплоидном наборе хромосом. В Г. каждый ген представлен одним аллелем.

ГЕНОТИП (от греч. *génus* — род, происхождение и *typos* — отпечаток, форма, образец) — совокупность генов организма, единая система, в которой гены находятся в сложном взаимодействии друг с другом. *Ср.* Фенотип.

ГЕНОФОНД (генетический фонд) (от греч. *génus* — род, происхождение и лат. *fondus* — основание) — наследственная информация, заключённая в совокупности генов какой-либо группы особей (например, Г. популяции).

ГЕОФИТ — *см.* Жизненная форма.

ГЕТЕРОТРОФНЫЙ (от греч. *heteros* — разный и *trophē* — пища) — подразумевающий использование только готовых органических веществ для питания. Г. **организм**, Г. **вид** (гетеротроф) употребляет органические соединения, произведённые другими организмами, и не способен синтезировать фрагменты биологических макромолекул из неорганических составляющих. В сообществах гетеротрофы выступают в роли консументов или редуцентов. Г. **питание** — тип питания, свойственный гетеротрофам.

ГИДРОБИОНТ (от греч. *hydor* — вода и *biōn* — живущий) — организм (вид организмов), постоянно обитающий в водной среде или проводящий в ней часть жизненного цикла.

ГОЛОЗОЙНОЕ (АНИМАЛЬНОЕ, ЖИВОТНОЕ) ПИТАНИЕ — питание посредством захвата твёрдых пищевых частиц.

ГОМОЙОТЕРМНЫЙ ОРГАНИЗМ (гомойотерм) (от греч. *hómoios* — тот же самый, одинаковый и *term* — температура) — организм, имеющий более или менее постоянную температуру тела и способный поддерживать её в узких границах, несмотря на изменение температуры окружающей среды.

ГОМОЛОГИЧНЫЕ ХРОМОСОМЫ (от греч. *hómoios* — тот же самый, одинаковый) — парные хромосомы, одинаковые по форме, размерам и набору генов.

ГОРМОН (от греч. *hormáo* — привожу в движение) — биологически активное вещество, вырабатываемое железой внутренней секреции и выделяемое непосредственно в кровь. Г. выполняют регуляторную функцию (регулируют функции органов и систем органов).

ГРАДИЕНТ — направленное постепенное изменение интенсивности какого-либо фактора. Например, в водоёме присутствуют Г. освещённости, температуры и давления, обусловленные такими характеристиками воды, как плотность, коэффициент преломления, теплопроводность, масса.

ГРЕЙ (Гр) — единица дозы радиации, поглощённой биологическим объёмом. 1 Гр = 100 рад; 1 рад = 0,1 Дж/кг.

ГУМИДНЫЙ (от лат. *humidus* — влажный) — формирующийся в условиях климата с избыточным количеством осадков (Г. климат), при котором количество получаемого солнечного тепла недостаточно для испарения всей влаги с поверхности.

ГУМУС (от лат. *humus* — основа, земля, почва) — специфические тёмно-окрашенные органические или органоминеральные почвенные соединения, которые образуются из мёртвых остатков и прижизненных выделений организмов под воздействием деятельности почвенных организмов и почвенных химических процессов *См. также* Почва.

ДЕГРАДАЦИЯ (от лат. *degradatio* — снижение, движение назад, ухудшение) — ухудшение из поколения в поколение приспособляемости организмов, популяций или экосистем (биогеоценозов), вызванное неблагоприятными условиями существования, инбридингом или болезнями.

ДЕМОГРАФИЯ (от греч. *demos* — народ и *grapho* — пишу) — наука, изучающая народонаселение. Д. является общественной наукой, её предмет — воспроизводство населения в контексте социальных и этнических условий.

ДЕМУТАЦИЯ (от лат. *de* — отмена, удаление и *mutatio* — изменение, перемена) — процесс восстановления экосистемы после разрушения или существенного нарушения её состава и структуры (дигрессии). *Ср.* Катаценоз.

ДЕМЭКОЛОГИЯ (от греч. *demos* — народ и *oikos* — дом, родина) — часть классической экологии, изучающая взаимоотношения популяций друг с другом и с окружающей их средой, динамику численности и ряд других характеристик популяций.

ДЕСТРУКТОР — *см.* Редуцент.

ДЕТРИТ (от лат. *detritus* — истертый) — в водной среде: мелкие частицы остатков организмов и их выделений, взвешенные в воде или осевшие на дно водоёма; в почве: мёртвые органические остатки (перегной).

ДИАПАУЗА — (от греч. *diápausis* — перерыв, остановка) — период покоя в развитии животных, характеризующийся резким снижением обмена веществ и остановкой процессов роста и развития. Иногда понятие Д. распространяют и на другие организмы (растения, бактерии и т. д.). В зависимости от того, на какой стадии жизненного цикла наступает Д., различают эмбриональную Д. (у коловраток, саранчовых, грызунов, соболя, норки и др.), личиночную Д. (у некоторых бабочек), куколочную Д. (у капустной белянки, капустной совки) и имагинальную Д. (у комаров, жуков-листоедов и других насекомых). *Ср.* Анабиоз и Спячка у млекопитающих.

ДИВЕРГЕНЦИЯ (от лат. *divergentia* — расхождение) — 1) в теории эволюции — расхождение признаков в пределах популяции, вида или таксона любого ранга, возникающее под действием естественного отбора; 2) первичная форма эволюции таксонов путём разделения единого таксона на два или несколько; 3) в экологии — разделение одного сообщества на два в результате внешних или внутренних причин.

ДИГРЕССИЯ (от англ. *degression* — уменьшение) — ухудшение состояния экосистем (при длительном затоплении, засолении, перевыпасе скота

и т. д.). Финальная стадия Д. — катаценоз, после которой экосистема окончательно разрушается. Противоположный Д. процесс — демутиация.

ДИПЛОИДНЫЙ НАБОР ХРОМОСОМ (от греч. *diplos* — двойной и *éidos* — вид) — набор хромосом, в котором все имеющиеся хромосомы — парные (гомологичные). Д. н. х. присутствует в оплодотворённой яйцеклетке (зиготе) и в соматических клетках большинства организмов.

ДИХОТОМИЯ (от греч. *dichotómia*: *dícha* — на две части и *tome* — разрез, сечение) — 1) деление чего-либо на две части; 2) тип ветвления растений, при котором ось разделяется на две новые, обычно одинаково развитые части (например, листья гинкго).

ДОМИНИРОВАНИЕ (от лат. *dominans* — родительный падеж *dominantis* — господствующий) — 1) в экологии — способность вида занимать в сообществе главенствующее положение и оказывать преобладающее влияние на ход процессов в сообществах (такой вид называют доминантом; для растений принят термин эдификатор); 2) в генетике — форма взаимоотношений парных генов (аллелей), при которой один из них подавляет действие другого (такой ген называют доминантным, подавляемый — рецессивным); 3) в этологии — реализация преимуществ одной или нескольких особей перед другими.

ЖИЗНЕННАЯ ФОРМА — совокупность (приспособительный тип) организмов, обладающих внешне сходными приспособлениями (и как следствие — сходным обликом). Ж. ф. растений (биоморфа) — своеобразный облик каждой конкретной группы растений, возникающий в определённых условиях среды (см. также Экобиоморфа). Первая классификация Ж. ф. растений по внешнему сходству была разработана немецким учёным и путешественником Александром Гумбольдтом (1769—1859), который выделил 19 Ж. ф. растений. Датский ботаник Христен К. Раункиер (1860—1938) выделил 5 Ж. ф. растений по расположению почек возобновления относительно почвы в неблагоприятный период: фанерофиты (деревья), хамефиты (кустарники и кусты), гемикриптофиты (травы), геофиты (корневищные, луковичные и клубнеобразующие), терофиты (зимующие в виде семян и спор).

ЗАКОНЫ В. ВОЛЬТЕРРА — закон периодического цикла: колебания численности двух видов являются периодическими и зависят от коэффициентов роста популяций хищника и жертвы и исходной относительной численности; закон сохранения средних величин: средняя численность популяций обоих видов остаётся постоянной независимо от первоначальной численности до тех пор, пока скорости увеличения и уменьшения популяций, а также интенсивность хищничества постоянны; закон нарушения средних величин: если уничтожать особей обоих видов пропорционально плотности их популяций, то средняя численность популяции жертвы будет расти, а хищника — снижаться; это происходит потому, что у хищника вероятность поймать жертву больше при увеличении плотности, чем при возрастании её численности.

ЗООНОЗ — см. Эпизоотия.

ИЗМЕРЕНИЕ — визуальное или инструментальное сравнение измеряемой величины с единицей измерения (эталоном).

ИМАГО (от лат. *imago* — образ, вид) — окончательная стадия онтогенеза насекомых. В стадии И. насекомые расселяются и размножаются.

ИМАГИНАЛЬНЫЙ — имеющий отношение к имаго.

ИНГИБИТОР (от лат. *inhibeo* — останавливаю) — вещество, тормозящее какой-либо сложный биологический процесс; в биологии — вещества различного происхождения, снижающие активность ферментов.

ИНБРИДИНГ (от англ. *inbreeding*: *in* — в, внутри и *breeding* — разведение) — близкородственное скрещивание. Приводит к повышению гомозиготности, проявлению рецессивных аллелей и в конечном итоге — к ослаблению особей (инбредная депрессия). Наиболее тесная форма И. — самооплодотворение.

ИНДИВИД (от лат. *individuum* — неделимое) — особь, организм, имеющий все признаки вида (проявляющий видовые особенности генотипа и фенотипа).

ИНТЕРФЕЙС (от англ. *interface* — связующее звено) — компоненты компьютерных программ, которые обеспечивают взаимодействие человека (пользователя) и машины (компьютера). Включают в себя внешнее оформление, диалоговые окна, системы ввода данных и т. д.

ИНТРОДУКЦИЯ (от лат. *introductio* — введение) — переселение и внедрение живых организмов (растений, животных и проч.) в новые для них условия существования.

ИОНИЗИРУЮЩЕЕ ИЗЛУЧЕНИЕ — естественное или техногенное излучение с длиной волны менее 150 нм (гамма- и рентгеновские лучи). Может являться мутагеном и канцерогеном.

КАНЦЕРОГЕН (от лат. *cancer* — рак и греч. *génos* — род, происхождение) — физический, химический или биологический фактор, способный вызывать канцерогенез. Большинство К. имеют антропогенное происхождение.

КАНЦЕРОГЕНЕЗ (от лат. *cancer* — рак и греч. *génos* — род, происхождение) — процесс перерождения (превращения) нормальных тканевых клеток в опухолевые (раковые).

КАТАЛОГ (от греч. *katálogos* — перечень, список) — систематический перечень предметов, подобранных по определённому признаку; список предметов, составленный в порядке, облегчающем их нахождение.

КАТАЦЕНОЗ (от греч. *kata* — вниз и *koinos* — общий) — финальная стадия деградации биогеоценоза, характеризующаяся резким сокращением числа сохранившихся видов и резким ухудшением качеств биотопа (см. 4.1).

КАРОТИНОИДЫ (от лат. *carota* — морковь) — пигменты красно-оранжевых тонов. Встречаются у растений, животных и микроорганизмов. У растений и некоторых бактерий К. наряду с хлорофиллами участвуют в фотосин-

тезе, часто предохраняют хлорофиллы от разрушения солнечным светом. Способны аккумулировать кислород и позже отдавать его в клетки и ткани. У животных К. участвуют в обеспечении цветного зрения. К. делят на каротины (пигменты, не содержащие кислород) и ксантофиллы (кислородсодержащие пигменты).

КИСЛОТНОСТЬ ПОЧВЫ — способность почвы проявлять свойства кислот. Мерой К. п. является концентрация водородных ионов. См. также Водородный показатель.

КОНВЕРГЕНЦИЯ (от лат. *convergero* — сходиться) — 1) появление сходных черт строения, физиологии и поведения у не родственных, но обитающих в сходных условиях видов и родов организмов; 2) форма эволюции таксонов, при которой у представителей разных групп возникают сходные признаки, вызванные приспособлением к сходным условиям.

КОМПОНЕНТ ЭКОСИСТЕМЫ — в составе экосистемы выделяют абиотические К. э. — воздушная, водная и субстратная среда, а также химические вещества и физические факторы, присутствующие в экосистемах; биотические К. э. — продуценты, консументы и редуценты.

КОНСУМЕНТ (от лат. *consume* — потребляю) — гетеротрофный организм (вид организмов), потребляющий живое органическое вещество (растительноядные, хищные и паразитические животные, некоторые микроорганизмы, паразитические растения). В трофических цепях растительноядные организмы называют К. первого порядка; организмов, образующих последующие звенья цепей, выделяют в К. второго, третьего и т. д. порядка.

КОСНОЕ ВЕЩЕСТВО — абиогенные минералы и горные породы, образовавшиеся без участия живого вещества.

ЛАТЕНТНЫЙ (от лат. *latens* — скрытый) — скрытый, невидимый, внешне не проявляющийся.

ЛОГИКА (от греч. *logic* — соответствующий рассуждениям) — 1) наука о закономерностях и формах мышления; 2) ход рассуждений, умозаключений; 3) разумность, внутренняя закономерность.

ЛОКУС (от лат. *locus* — место) — линейный участок хромосомы, занимаемый одним геном.

МАТЕМАТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ — в широком смысле — разработка приёмов вычислений и их применения к решению различных вопросов о величинах; в узком смысле — совокупность разделов математики, занимающихся исчислением бесконечно малых величин (дифференциальное и интегральное исчисления), теорией рядов и т. д.

МЕЗОТРОФНЫЙ (от греч. *mesos* — промежуточный и *trophē* — пища) — характеризующийся умеренными показателями обилия органических и минеральных веществ. М. водоём — водоём средней продуктивности, среднезагрязнённый органическими веществами.

МЕЛАНИН (от греч. *mélas* — родительный падеж *mélanos* — чёрный) — чёрный, коричневый или жёлтый пигмент. У человека и животных М. содержится в коже, волосах, радужной оболочке глаза, придавая этим органам специфическую окраску. У растений окрашивает кожуру некоторых плодов. М. служит для защиты от избыточной солнечной радиации.

МЕСТООБИТАНИЕ — участок суши или водоёма, на котором живёт часть популяции какого-либо вида и который обладает всеми необходимыми для существования этого вида условиями.

МИКРОБНОЕ ЗАГРЯЗНЕНИЕ ПОЧВ — загрязнение почв в результате поступления в них микроорганизмов, являющихся патогенными, и так называемых санитарно-показательных микроорганизмов, являющихся биоиндикаторами среды и используемых для определения степени её загрязнённости.

МИКРООРГАНИЗМЫ (от греч. *mikrós* — малый, маленький) — комплекс живых организмов (чаще одноклеточных), который включает в себя микроскопические грибы и водоросли, бактерии и простейшие.

МИКРОЭЛЕМЕНТ (от греч. *mikrós* — малый, маленький) — химический элемент, который необходим живым организмам в низких концентрациях. М. влияют на многие процессы в организме, и их недостаток или избыток приводит к нарушению обмена веществ.

МИКСОТРОФНЫЙ (от греч. *míxis* — смешение и *trophē* — пища) — подразумевающий смешанное (автотрофное и гетеротрофное) питание. М. организм, М. вид (миксотроф) является одновременно (или попеременно) гетеротрофом и автотрофом, например хлорофиллоносные жгутиковые (эвглена), растения-полупаразиты (погремок, очанка), насекомоядные растения (росянка). М. питание — тип питания, свойственный миксотрофам.

МНОГОФАКТОРНЫЙ ЭКСПЕРИМЕНТ (факториальный эксперимент) — эксперимент, позволяющий выявить действие и взаимодействие нескольких изучаемых факторов на изменчивость изучаемого признака.

МОДИФИКАЦИЯ (от франц. *modification* или от лат. *modificatio* — изменение) — видоизменение, преобразование чего-либо, характеризующееся появлением новых свойств; в биологии — ненаследственное изменение организма, противопоставляемое мутации.

МОНОКАРПИЧЕСКИЙ (от греч. *mónos* — один, единый, единственный и *karpós* — плод) — цветущий и плодоносящий единожды. М. растения плодоносят один раз в жизни, после чего обычно погибают (все одно- и двулетние растения, из многолетников — некоторые виды бамбука, пальм и др.).

МОРФОЛОГИЧЕСКИЙ (от греч. *morphe* — форма и *lógos* — слово, учение) — относящийся к морфологии, касающийся внешнего вида и строения.

МОРФОЛОГИЯ (от греч. *morphe* — форма и *lógos* — слово, учение) — комплекс научных отраслей и их разделов, исследующий форму и строение организмов.

МУТАГЕН (от лат. *mutatio* — изменение, перемена и *genesis* — происхождение, возникновение) — физический или химический фактор, вызывающий мутации. Физические М.: ионизирующие излучения и ультрафиолетовое излучение, в некоторой степени — высокие и низкие температуры. Химические М.: диоксины, бензопирен, иприт, азотистая кислота, формальдегид, перекись водорода, нитрозосоединения и т. д. Биологические М.: чужеродные нуклеиновые кислоты (ДНК и РНК) и белки. Количество известных М. постоянно увеличивается, так как мутагенные свойства обнаруживают у веществ, ранее не изученных в этом отношении.

МУТАГЕНЕЗ (мутагенный эффект) (от лат. *mutatio* — изменение, перемена и *genesis* — происхождение, возникновение) — случайный или вызванный мутагеном процесс возникновения мутаций.

МУТАЦИЯ (от лат. *mutatio* — изменение, перемена) — внезапно возникающие естественные (спонтанные) или вызываемые мутагенами (индуцированные) стойкие наследственные изменения (изменения наследственных структур живой материи, ответственных за хранение и передачу генетической информации). Различают генные (см. Ген), хромосомные (см. Хромосома), геномные (см. Геном) и внеядерные М.

НАСТИЯ (от греч. *nastós* — уплотнённый) — движение органов растения (листьев, побегов), вызванное действием раздражителя (света, температуры и т. д. Н. — результат неравномерного роста клеток, расположенных на верхней и нижней сторонах органа, или неодинакового изменения тургора этих клеток.

НУТАЦИЯ (от лат. *nutatio* — колебание) — вращательное движение верхушек растущих органов, наиболее чётко выраженное у вьющихся растений. Возникает по причине неравномерного роста различных частей органов растений (стеблей, цветоносов, усиков и т. д.).

НОМЕНКЛАТУРА (от лат. *nomenclatura* — перечень имен) — совокупность или перечень названий, терминов, употребляющихся в какой-либо отрасли науки, искусства, техники и т. д.

ОЛИГОТРОФНЫЙ (от греч. *oligos* — немногий, незначительный и *trophē* — пища) — характеризующийся низкими показателями обилия органических и минеральных веществ. О. водоём — водоём с низким уровнем первичной продуктивности, низким содержанием органического вещества, который характеризуется большой прозрачностью, высоким содержанием кислорода в верхнем слое воды и донными отложениями, окрашенными, как правило, в коричневые оттенки и содержащими незначительное количество органического вещества.

ОНТОГЕНЕЗ (от греч. *ón* — родительный падеж *óntos* — сущее и *genesis* — происхождение, возникновение) — развитие индивида от момента оплодотворения яйцеклетки до смерти организма, включающее рост и развитие.

ОСМОС (от греч. *ōsmós* — толчок, давление) — проникновение частиц растворителя через избирательно проницаемую мембрану, разделяющую два раствора с различными концентрациями растворённого вещества, в сторону раствора с большей концентрацией.

ПАРАДИГМА (от греч. *paradeigma* — пример, образец) — теория (модель, тип постановки проблемы), принятая в качестве образца решения исследовательских задач.

ПАЗИТИТНОЕ ПИТАНИЕ (от греч. *parasitos* — нахлебник) — питание соками и (или) тканями тела других организмов (хозяев).

ПАСТЕРИЗАЦИЯ — метод обеззараживания и консервирования жидких пищевых продуктов нагреванием до температуры, не достигающей 100 °С (в отличие от стерилизации); предложен французским микробиологом и химиком Луи Пастером (1822—1895). При П. погибает большинство бактерий, микроскопических грибов (плесневых, дрожжей и др.), разрушаются ферменты, но сохраняются витамины.

ПАТИЕНТ (от лат. *patients* — способный переносить, выносливый) — растение (вид растения), способное выживать в неблагоприятных условиях и выдерживать сильную конкуренцию. П. поддерживают численность у нижнего предела за счёт имеющейся у них возможности переживать длительные стрессы. *Ср.* Виолент, Эксплерент.

ПАТОГЕННЫЙ (от греч. *páthos* — страдание, болезнь и *genesis* — происхождение, возникновение) — болезнетворный, вызывающий заболевание (например, П. микроорганизмы вызывают болезни человека, животных и растений).

ПЕРИОД ПОЛУВЫВЕДЕНИЯ — время, за которое живой организм выделит половину содержащегося в нём (вредного) вещества (химического элемента).

ПЕСТИЦИД (от лат. *pestis* — чума, *cido* — убивать) — ядохимикат, предназначенный для уничтожения вредителей, сорняков и болезней. Акарицид — вещество для борьбы с клещами, инсектицид — с вредными насекомыми, гербицид — с нежелательной растительностью; зооцид — с вредными позвоночными; бактерицид, фунгицид — с возбудителями бактериальных и грибковых болезней животных и растений и т. д.

ПИГМЕНТ (от лат. *pigmentum* — краска) — окрашенное вещество, содержащееся в клетках и (или) тканях живых организмов, обуславливающее окраску и участвующее в их жизнедеятельности. Наиболее часто встречающиеся П. — хлорофиллы, каротиноиды, меланины, родопсины.

ПИТАТЕЛЬНАЯ СРЕДА — жидкая или плотная основа для выращивания и разведения культур водорослей, микроорганизмов, беспозвоночных и т. д. (например, дрожжевая суспензия, агар-агар). П. с., используемые в экспериментах, называют лабораторными П. с.).

ПОЙКИЛОТЕРМНЫЙ ОРГАНИЗМ (**пойкилотерм**) (от греч. *poikilos* — различный, переменчивый и *thérme* — тепло) — организм с непостоянной температурой тела, меняющейся в зависимости от температуры внешней среды. К пойкилотермным животным относят всех беспозвоночных, а из позвоночных — рыб, земноводных и пресмыкающихся.

ПОЛИКАРПИЧЕСКИЙ (от греч. *polýs* — многий и *karpós* — плод) — цветущий и плодоносящий многократно. П. **растения** (большинство многолетних цветковых растений) плодоносят несколько раз в течение жизни.

ПОЛИПЛОИДИЯ (от греч. *polýploos* — многократный и *éidos* — вид) — увеличенное число хромосом в клетках, кратное гаплоидному набору хромосом (три одинаковых набора хромосом — триплоидия, четыре — тетраплоидия и т. д.). Часто является нормальным явлением для растений; среди животных встречается у некоторых аскарид и земноводных. П. может также возникать в момент деления половых и соматических клеток под действием мутагенов, высоких и низких температур и др.

ПОПУЛЯЦИЯ (от лат. *populus* — народ, население) — совокупность особей одного вида, имеющих общий генофонд и населяющих определённое пространство с относительно однородными условиями обитания, способная к самовоспроизводству.

ПОТЕНЦИОМЕТРИЧЕСКИЙ МЕТОД (от лат. *potentia* — сила и греч. *métron* — мера) — метод, основанный на измерении электрических характеристик исследуемого объекта. П. м. позволяет измерять концентрацию ионов (например, величину водородного показателя) в растворах, изучать химический состав газов и т. д.

ПОЧВА (по мнению В. И. Даля, слово «почва» происходит от «почивало», т. е. места для почивания или лежания) — особое природное образование, возникшее в результате преобразования поверхностных слоёв литосферы под совместным воздействием воды, воздуха, климатических факторов и живых организмов.

ПРЕДЕЛЫ ТОЛЕРАНТНОСТИ (от лат. *tolerantia* — терпение) — диапазон колебаний значений экологических факторов, в котором возможно существование организма.

ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТЬ ЖИЗНИ — длительность существования особи или клона особей (образующихся в результате бесполого или вегетативного размножения от одного предка). П. ж. **средняя** — средний возраст, которого достигают особи данной выборки (частное от деления суммы возрастов погибших особей на их число).

ПРОДУКТИВНОСТЬ (**биологическая продуктивность**) (от лат. *productus* — произведённый) — воспроизведение биомассы растений, микроорганизмов, животных, входящих в состав экосистемы. П. выражают определёнными величинами — первичной и вторичной продукцией (валовой и чистой; см. 4.2).

ПРОДУЦЕНТ (от лат. *producens* — родительный падеж *producentis* — производящий, создающий) — автотрофный организм (вид организмов), создающий органические вещества из неорганических в процессе фотосинтеза или хемосинтеза. Основные П. водных и наземных экосистем — фотосинтезирующие организмы. П. составляют первый трофический уровень в экосистеме (основание экологической пирамиды; см. 4.1). Ср. Консумент, Редуцент.

ПРОЛИФЕРАЦИЯ (от лат. *proles* — отпрыск, потомство и *fero* — не-су) — увеличение числа клеток путём митоза, приводящее к росту ткани, в отличие от других способов увеличения её массы, например вследствие отёка. Интенсивность П. регулируется стимуляторами и ингибиторами, вырабатываемыми как вдали от реагирующих клеток (например, гормонами), так и внутри их. Некоторые клетки, например нервные, не способны к П.

РЕЗИСТЕНТНОСТЬ (от лат. *resistere* — сопротивляться) — устойчивость организма к воздействию неблагоприятных факторов внешней среды (например, к загрязнению окружающей среды).

РЕДУЦЕНТ (от лат. *reducens* — возвращающий, восстанавливающий) — гетеротрофный организм (вид организмов), деструктор (разрушитель), питающийся мёртвым органическим материалом и подвергающий его частичной или полной минерализации, т. е. разрушению до неорганических соединений, затем используемых продуцентами. В роли Р. могут выступать сапротрофы.

РЕПУЛЛЕНТ (от лат. *repello* — отталкиваю) — природное или синтетическое вещество, отпугивающее животных.

РОДОПСИН (от греч. *rhodon* — роза и *opsis* — зрение) — зрительный пигмент, сосредоточенный в палочковых клетках сетчатки глаза и обеспечивающий восприятие света с длиной волны в области 500 нм.

САПРОПЕЛЬ (от греч. *sapros* — гнилой и *pelos* — ил) — иловые отложения водоёмов суши (озёр и лагун), состоящие в основном из органических веществ и остатков водных организмов.

САПРОТРОФ (от греч. *sapros* — гнилой и *trophé* — питание) — организм (вид организмов), питающийся мёртвыми остатками других организмов и отходами их жизнедеятельности. С. в экосистеме могут выполнять роли консументов и редуцентов. К С. относят падальщиков, питающихся трупами животных (грифы, стервятники, жуки-мертвоеды и др.), детритофагов, потребляющих детрит (дождевые черви, микроорганизмы, грибы и т. д.), копрофагов (от греч. *kopros* — помёт), поедающих экскременты, например навозных жуков.

СЕНИЛЬНЫЙ (от лат. *senilis*) — старческий.

СИНЕРГИЧЕСКОЕ ДЕЙСТВИЕ (от греч. *synergos* — вместе действующий) — явление, при котором суммарный эффект от влияния двух и более факторов оказывается больше простой суммы независимых эффектов (действий). Ср. Аддитивное действие.

СИСТЕМА — совокупность элементов, определённым образом связанных и взаимодействующих между собой. Системой можно считать любой объект, реальный или мыслимый, целостные свойства которого могут быть представлены как результат взаимодействия образующих его частей. Биологическая С. — биологические образования различной сложности (от макромолекулы до биосферы).

СОМАТИЧЕСКИЙ (от греч. *soma* — тело) — имеющий отношение к тканям, клеткам, органам тела, например С. клетка — любая клетка тела (кроме половой).

СПЕЦИАЛИЗАЦИЯ (от лат. *specialis* — особый, особенный) — направление эволюционного процесса (см. Эволюция) в сторону выработки наиболее подходящих приспособлений для жизни в менее разнообразных, по сравнению с предками, условиях окружающей среды, приводящее к снижению конкуренции с другими видами.

СПОНТАННЫЙ (от лат. *spontaneous* — самопроизвольный) — самопроизвольный, возникающий без внешних воздействий, по внутренним причинам.

СРЕДНЯЯ ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТЬ ЖИЗНИ — см. Продолжительность жизни.

СТРУКТУРНО-ФУНКЦИОНАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ — совокупность операций, с помощью которых объект рассматривают как систему, в которой каждый элемент является частью целостного образования и выполняет определённую функцию. В качестве основного средства анализа объекта выступает выявление и сопоставление различных функций, свойственных объекту.

ТАКСИС (от греч. *taxis* — расположение) — направленное перемещение организмов, их органов, отдельных клеток и даже их органелл под влиянием односторонне действующего фактора в направлении к источнику влияния (положительный Т.) или в противоположном направлении (отрицательный Т.). Например, ориентация хлоропластов в зависимости от направления освещения — проявление фототаксиса, движение амёбы по градиенту концентрации хлорида натрия — проявление хемотаксиса.

ТЕРОФИТ — см. Жизненная форма.

ТОРФ (от нем. *Torf*) — 1) неразложившиеся остатки растительности болот; 2) горючее полезное ископаемое, образующееся в процессе естественного отмирания и неполного распада болотных растений в условиях избыточного увлажнения и затруднённого доступа воздуха.

ТРАНСПИРАЦИЯ (от лат. *trans* — сквозь, через, за и *spiro* — дышу, выдыхаю) — испарение воды растением. Т. обычно происходит через устьица или кутикулу листа. Т. необходима для процессов терморегуляции растения, фотосинтеза и др.

ТРОФИЧЕСКИЙ (от греч. *trophé* — питание) — относящийся к питанию. Т. цепь (цепь питания) — совокупность видов организмов, последова-

тельно извлекающих органическое вещество и энергию из исходного пищевого вещества. Предыдущее звено является пищей для следующего звена. Т. уровень — совокупность видов организмов, объединённых типом питания. Автотрофные организмы занимают первый Т. уровень (уровень продуцентов), далее следуют гетеротрофные: на втором Т. уровне находятся растительноядные животные (консументы первого порядка), на третьем — хищники, питающиеся растительноядными животными (консументы второго порядка), на четвёртом — вторичные хищники (консументы третьего порядка). Редуценты могут занимать любой Т. уровень начиная со второго. Организмы различных Т. цепей, получающие пищу через равное число звеньев, находятся на одном Т. уровне.

ТУРГОР (от лат. *turgere* — быть набухшим, наполненным) — способность клеток оставаться упругими. Т. растительной клетки зависит от осмотического давления внутри и снаружи клетки и упругости клеточной стенки.

ТЯЖЁЛЫЕ МЕТАЛЛЫ — химические элементы с атомной массой свыше 50 а. е. м.: свинец, кадмий, ртуть, цинк, молибден, марганец, никель, олово, титан, кобальт, медь, ванадий и т. д. В высоких концентрациях Т. м. токсичны для организмов.

УМОЗАКЛЮЧЕНИЕ — рассуждение, в ходе которого из одного или нескольких суждений (посылок) логически выводится новое суждение.

ФАКТОР (от лат. *factor* — делающий, производящий) — движущая сила, причина какого-либо процесса или явления, существенное обстоятельство в каком-либо процессе или явлении (например, освещение, температура, влажность, влияющие на жизнедеятельность организмов, являются абиотическими Ф.).

ФАКУЛЬТАТИВНЫЙ (от лат. *facultas* — возможность) — возможный, необязательный, предоставляемый на выбор, действующий от случая к случаю.

ФАНЕРОФИТ — см. Жизненная форма.

ФЕНОТИП (от греч. *phaino* — являю, обнаруживаю и *typos* — отпечаток, форма, образец) — совокупность всех признаков и свойств организма, сформировавшихся в процессе онтогенеза. Складывается в результате взаимодействия генотипа и условий среды обитания.

ФЕРМЕНТЫ (от лат. *fermentum* — закваска) — то же, что энзимы; специфические белковые соединения — катализаторы. Присутствуют во всех живых клетках и участвуют почти во всех биохимических реакциях организмов. Экзофермент — внеклеточный Ф., синтезируемый во внешнюю среду.

ФИЛОГЕНЕЗ (от греч. *phyle* — род, племя и *genesis* — рождение, происхождение) — историческое развитие живой материи, организмов, эволюция органического мира, различных его систематических групп, отдельных органов и их систем.

ФИТОНЦИД (от греч. *phytón* — растение и лат. *caedo* — убиваю) — образуемые растениями биологически активные вещества, убивающие или подавляющие рост и развитие бактерий, микроскопических грибов, простейших.

ФИТОЦЕНОЛОГИЯ (от греч. *phytón* — растение, *koinós* — общий и *logos* — учение) — учение о растительных сообществах.

ФЛУКТУАЦИЯ (от лат. *fluctuatio* — колебание) 1) случайное отклонение величины, характеризующей систему, которая состоит из большого числа частиц или параметров, от её среднего значения; 2) в экологии — незначительное изменение состояния экосистемы, не приводящее к смене сообщества, в отличие от сукцессии (см. 4.3).

ФОТОСИНТЕЗ (от греч. *phōs* — родительный падеж *phōtós* — свет и *synthesis* — соединение) — образование высшими растениями, водорослями, фотосинтезирующими бактериями сложных органических веществ из неорганических соединений (углекислого газа и воды) за счёт энергии света поглощаемой хлорофиллом и другими фотосинтетическими пигментами.

ХАМЕФИТ — см. Жизненная форма.

ХЕМОСИНТЕЗ (от греч. *chemo* — химия и *synthesis* — соединение) — образование некоторыми микроорганизмами сложных органических веществ из неорганических соединений (двуокиси углерода) за счёт энергии, получаемой при окислении неорганических соединений: аммиака, соединений серы, двухвалентного железа.

ХЕМОТРОФ — автотрофный организм, синтезирующий органические вещества из неорганических составляющих за счёт использования энергии окисления химических веществ (например, аммиака, сероводорода и др.).

ХЛОРОФИЛЛ (от греч. *chloros* — зелёный и *phyllon* — лист) — пигмент зелёного цвета, содержащийся в клетках фотосинтезирующих организмов, улавливающий солнечный свет и являющийся основным пигментом для процесса фотосинтеза. В клетках высших растений содержатся так называемые Х. *a* и *b*, в клетках бурых и диатомовых водорослей — Х. *a* и *c*, в красных водорослях — Х. *a* и *d*, различающиеся по строению и способности воспринимать лучи света.

ХРОМОСОМА (от греч. *chroma* — цвет, краска и *soma* — тело) — компонент клеточного ядра (органойд), состоящий из ДНК и белков. Совокупность Х. определяет основные наследственные признаки и свойства организма. См. также Гаплоидный набор хромосом.

ЦЕНОЗ (от греч. *koinós* — общий) — то же, что биоценоз (см. 4.1).

ЦЕПЬ ПИТАНИЯ — см. Трофический.

ШТАММ (от нем. *Stamm* — ствол, основа) — культура одного и того же вида микроорганизмов. Ш. различаются между собой по каким-либо отдельным признакам или по происхождению.

ЭВОЛЮЦИЯ (от лат. *evolutio* — развёртывание, раскрытие) — необратимое историческое развитие живой природы, сопровождающееся изменением генофонда различных популяций, образованием и вымиранием видов, преобразованием экосистем и биосферы в целом.

ЭВТРОФИКАЦИЯ (от греч. *eu* — хорошо, *trophē* — пища и лат. *facio* — делаю) — повышение уровня продуктивности экосистемы водоёма благодаря увеличению в нём концентрации биогенных элементов, главным образом фосфора, азота и углерода. При Э. возрастает количество фотосинтезирующих организмов (происходит «цветение» воды), в результате уменьшается содержание кислорода и возникает замор рыб и других гидробионтов.

ЭВТРОФНЫЙ (от греч. *eu* — хорошо и *trophē* — пища) — характеризующийся высокими показателями обилия органических и минеральных веществ. Э. **водоём** — неглубокий, хорошо прогреваемый водоём, с высокой продуктивностью и повышенным содержанием органических веществ.

ЭДАФИЧЕСКИЙ ФАКТОР (от греч. *edaphos* — почва) — экологический фактор, связанный с почвой, её плодородием и другими её свойствами, а также с воздействием почвы на организмы.

ЭДИФИКАТОР (от лат. *aedificator* — строитель) — вид организмов, которому свойственно доминирование в данной экосистеме, обладающий высоким средообразующим влиянием.

ЭКОБИОМОРФА (от греч. *oikos* — жилище, местопребывание, *bios* — жизнь и *morphē* — вид, форма) — совокупность видов, имеющих сходные морфологические черты, биологические ритмы, эколого-физиологические особенности. Э. отличается от биоморфы (см. Жизненная форма) тем, что учитывает не только морфологические признаки, но и особенности физиологии.

ЭКОЛОГИЯ (от греч. *oikos* — дом, родина и *logos* — слово, учение) — наука, изучающая взаимоотношения живых организмов между собой и с окружающей средой. Классическая Э. включает аутоэкологию (Э. особей), демэкологию и синэкологию (Э. сообществ). Существует также агроэкология (изучает агроэкосистемы), урбанэкология (урбоэкология, экология города), экология человека, промышленная экология и т. д.

ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ НИША (от франц. *niche* — гнездо) — совокупность всех требований организма к условиям существования, включая занимаемое пространство, функциональную роль в сообществе и устойчивость по отношению к факторам среды (температуре, влажности, кислотности и др.). Существует правило, согласно которому два вида не могут занимать одну Э. н., а должны различаться хотя бы по одному параметру.

ЭКСКРЕТЫ (от лат. *exscreo* — откашливаться, отхаркивать) — вещества, выделяемые организмом наружу: конечные продукты обмена веществ, аттрактанты, корневые выделения и фитонциды у растений и т. д.

ЭКСПРЕССИВНОСТЬ (от лат. *expressio* — выражение) — степень проявления гена в фенотипе — от явной выраженности признака, кодируемого данным геном, вплоть до отсутствия проявления.

ЭКСПЛЕРЕНТ (от лат. *explere* — наполнять, выполнять) — вид растений, которые быстро размножаются и расселяются в отсутствие конкурентов. Для Э. характерна высокая смертность, большое количество семян, небольшие размеры и малая продолжительность жизни. Численность популяций Э. подвержена большим колебаниям. Часто являются растениями пионерных сообществ, особенно в случае вторичной сукцессии (см. 4.3). Ср. Виолент, Пациент.

ЭКСТРАПОЛЯЦИЯ (от лат. *extra* — сверх, вне и *polio* — приглаживаю, выправляю) — прогнозирование, предсказание неизвестного путём продолжения полученной закономерности за границы области известного.

ЭМЕРДЖЕНТНОСТЬ СИСТЕМЫ (от англ. *emergence* — появление, всплывание) — явление несводимости свойств системы к свойствам составляющих её элементов. Свойства системы зависят не только от составляющих её элементов, но и от взаимодействия элементов, поэтому характеристики системы не являются простой суммой свойств частей.

ЭНЗИМЫ (от греч. *en* — в, внутри и *zyme* — закваска) — см. Ферменты.

ЭПИЗООТИЯ (от греч. *epi* — на, над, сверх и *zōon* — животное) — широкое распространение какой-либо инфекционной болезни среди животных, при котором заболеваемость выше обычной для данной территории или группы организмов. В случае если такое заболевание передается человеку (является **зоонозом**), Э. может предшествовать возникновению случаев болезни среди людей и даже эпидемий.

ЭПИФИТ (от греч. *epi* — на, над и *phytón* — растение) — растение (гриб, водоросль, лишайник), поселяющееся в основном на стволах и ветвях других растений, но не являющееся паразитом. Э. способны улавливать воду и минеральные вещества из воздуха.

ЭТОЛОГИЯ (от греч. *éthos* — характер, нрав и *lógos* — учение) — наука о поведении животных, изучающая в основном наследственные, инстинктивные компоненты поведения и проблемы его эволюции.

ЭФФЕКТИВНАЯ ЧИСЛЕННОСТЬ — часть общей численности популяции, определяемая долей особей, участвующих в передаче наследственных признаков следующему поколению.

ЭФЕМЕР (от греч. *ephemeros* — однодневный) среди растений — однолетнее травянистое, с очень коротким периодом вегетации (от 2—6 недель до 5—6 месяцев), переживающее неблагоприятные условия в виде покоящихся семян; характерны для пустынь, полупустынь и тундры; среди животных — виды с короткой продолжительностью жизни (например, подёнки).

ЭФЕМЕРОИД (от греч. *ephemeros* — однодневный и *eidos* — вид) — многолетнее травянистое растение, которое переживает неблагоприятный период в виде луковиц, клубней, корневищ. Э. характерны для засушливых областей, тундры и широколиственных лесов; в последних развиваются до начала вегетации основной растительности.

ЮВЕНИЛЬНЫЙ (от лат. *juvenilis* — юный, молодой, полный сил) — физиологически неполовозрелый.

ЯРУС — в фитоценологии — чётко выделяемый в пределах фитоценоза горизонт, объединяющий растения одной или нескольких близких жизненных форм. Так, в лесных фитоценозах выделяют древесный, кустарниковый, травяно-кустарничковый и мохово-лишайниковый Я.

Значения критерия Стьюдента

ν	q		
	0,05	0,01	0,001
1	12,71	63,66	—
2	4,30	9,93	31,60
3	3,18	5,84	12,94
4	2,78	4,60	8,61
5	2,57	4,03	6,86
6	2,45	3,71	5,96
7	2,37	3,50	5,41
8	2,31	3,36	5,04
9	2,26	3,25	4,78
10	2,23	3,17	4,59
11	2,20	3,11	4,44
12	2,18	3,06	4,32
13	2,16	3,01	4,22
14	2,15	2,98	4,14
15	2,13	2,95	4,07
16	2,12	2,92	4,02
17	2,11	2,90	3,97
18	2,10	2,88	3,92
19	2,09	2,86	3,88
20	2,09	2,85	3,85
21	2,08	2,83	3,82
22	2,07	2,82	3,79
23	2,07	2,81	3,77
24	2,06	2,80	3,75

Окончание

v	Q		
	0,05	0,01	0,001
25	2,06	2,79	3,73
26	2,06	2,78	3,71
27	2,05	2,77	3,69
28	2,05	2,76	3,67
29	2,05	2,76	3,66
30	2,04	2,75	3,65
50	2,01	2,68	3,50
100	1,98	2,63	3,39
∞	1,96	2,58	3,29

Инструкция по технике безопасности при работе в лаборатории

Противопожарная безопасность

Для предупреждения возникновения пожара необходимо строго соблюдать инструкции по всем видам работ. Каждый работающий в лаборатории должен знать, где располагаются электрические рубильники, газовые краны, средства пожаротушения, запасный выход. Доступы к ним всегда должны быть свободны.

В случае возникновения пожара надо обесточить помещение. Отключить газ, убрать от огня горючие предметы. О пожаре сообщить администрации и вызвать пожарную команду.

Мелкие очаги огня следует засыпать песком, хранимым для этой цели в специальных ящиках, или плотно накрывать их противопожарными асбестовыми материалами, закрывая доступ воздуха. Большие очаги огня следует ликвидировать с помощью огнетушителей. Нужно помнить, что газопенные огнетушители типа ОХП нельзя использовать для тушения установок, находящихся под током. Для этих целей применяют порошковые и углекислотные огнетушители. При загорании одежды на человеке необходимо использовать противопожарные одеяла или любую плотную ткань для прекращения доступа воздуха к очагу огня.

Правила безопасности при работе с химическими реактивами

Приливать концентрированные кислоты и аммиак, готовить и переливать концентрированные щёлочи можно только под тягой. Выполнять перечисленные виды работ необходимо в халате, шапочке, защитной маске или защитных очках и в резиновых перчатках.

Из бутылей ёмкостью более 10 л концентрированные кислоты и аммиак можно наливать только при помощи сифона. Переливая концентрированную азотную кислоту, следует помнить, что при попадании на органические материалы она способна вызвать их воспламенение.

Бутыли с агрессивными жидкостями можно переносить только в обрешётке.

Все работы с летучими, неприятно пахнущими веществами, а также с веществами, образующими при измельчении едкую или ядовитую пыль, нужно проводить под тягой.

Все химические опыты должны проводиться только в тех условиях, которые указаны в методических руководствах. Нюхать вещество надо с осторожностью, не наклоняясь над сосудом, а направляя к себе пары движением кисти руки. Нельзя наклоняться над сосудом, в котором что-либо кипит или в который наливается какая-либо жидкость. Нагревая пробирку с жидкостью, нужно направлять её отверстием в сторону, а не к себе и не к другому работающему в лаборатории.

При приготовлении растворов серной кислоты необходимо вливать кислоту в воду, а не наоборот.

Всю работу с концентрированными кислотами и щелочами, а также летучими и легковоспламеняющимися веществами разрешается проводить только в присутствии в лаборатории не менее двух человек и при работающей вентиляции.

Запрещается:

- ↳ набирать концентрированные кислоты, щёлочи и другие едкие и ядовитые вещества в пипетку ртом;
- ↳ пользоваться реактивами, находящимися в сосудах без этикеток;
- ↳ оставлять какие-либо вещества в сосудах без надписей;
- ↳ производить какие-либо опыты в грязной посуде;
- ↳ пробовать какие-либо вещества на вкус;
- ↳ сливать в раковину неразбавленные и не нейтрализованные отходы кислот, щелочей, сильных окислителей (хромовую смесь);
- ↳ при работах, связанных с опасностью взрыва, пожара, работать в лаборатории в одиночку;
- ↳ находиться в лаборатории в свободно болтающейся одежде (халат внакидку и т. п.);
- ↳ хранить и принимать пищу в лабораторном помещении;
- ↳ курить в лаборатории и примыкающих к ней помещениях;
- ↳ оставлять без присмотра кипящие, выпариваемые или прокаливаемые вещества.

Правила обращения со стеклом

При разламывании надрезанных стеклянных трубок или прутков их концы следует не только сгибать, но и растягивать, как бы стараясь разорвать. Вставляя пробку в горлышко тонкостенного сосуда, держать сосуд нужно как можно ближе к пробке. Вставляя стеклянную трубку в пробку или надевая резиновую трубку, стеклянную трубку нужно держать как можно ближе к вставляемому концу. При этом руку следует обернуть полотенцем.

Большие тонкостенные сосуды (колбы, стаканы) с жидкостью следует ставить не прямо на твёрдую поверхность (стол, кафельную плитку), а на подложенный асбест. Большие химические стаканы с жидкостью следует поднимать только двумя руками, так чтобы отогнутые края стекла опирались на указательные пальцы.

Перед тем как выполнять работы, связанные с нагреванием, следует убедиться, что на выбранном стеклянном сосуде имеется знак, свидетельствующий о термостойкости.

Привилегии безопасности при работе с электричеством

Электронагревательные приборы должны стоять на керамических или асбестовых подставках.

При работе с электронагревательными приборами следует проверить состояние контактов. Последние в процессе работы не должны нагреваться или искрить. Провода, подводимые к контакту, должны иметь запрессованные наконечники. Подводящие провода должны иметь хорошую изоляцию и защиту от внешнего механического и химического воздействия. Сечение проводов должно соответствовать потребляемой мощности и паспортной характеристике прибора. Запрещается работа на электронагревательных приборах, не имеющих заземления.

Какие-либо переключения или замену деталей в измерительных приборах (фотоэлектроколориметрах, потенциометрах, электрических весах и т. д.) и в электронагревательных приборах можно производить только после их полного отключения от электросети.

Первая помощь при несчастных случаях в химической лаборатории

Термические ожоги

При ожогах I степени (покраснение кожи, ощущение жжения) следует сразу же оросить поражённый участок холодной водой (под водопроводным краном) до исчезновения неприятных ощущений. При более сильных ожогах (II степени и выше, когда поражаются более глубокие слои кожи) рекомендуется наложить на поражённый участок сухую асептическую повязку и направить пострадавшего в ближайшее лечебное учреждение.

Химические ожоги

Поражённое место промокнуть фильтровальной бумагой или чистой тканью, промыть струёй воды в течение не менее 15 мин, затем наложить на

порёженный участок примочку 2%-го раствора бикарбоната натрия (NaHCO_3) в случае ожога концентрированными кислотами, а при ожогах щелочами — 2%-го раствора уксусной, лимонной или борной кислоты.

Если агрессивное вещество попало на кожу сквозь одежду, ткань последней следует разрезать ножницами, чтобы не увеличивать площадь поражения.

В случае попадания на кожу разъедающего органического вещества необходимо обмыть ожог не водой, а одним из органических растворителей (спиртом, бензолом). Затем наложить сухую асептическую повязку и направить пострадавшего в лечебное учреждение.

Химические ожоги гл 3

Промыть глаз водой, лучше с помощью душа или водяного фонтанчика, в течение 10—15 мин. В случае попадания в глаз кислоты продолжить промывание 2%-м раствором бикарбоната натрия. При резких болях ввести 1—2 капли 1%-го раствора новокаина.

Особенно опасны поражения глаз щелочами. После удаления щёлочи водой продолжить промывание глаза изотоническим (0,9%) раствором хлорида натрия в течение 30—60 мин. Затем следует немедленно обратиться к врачу.

Кровотечения

Для остановки капиллярного или венозного кровотечения достаточно наложить на рану давящую повязку. Из раны удалить осколки стекла, обработать кожу вокруг раны раствором йода. Нельзя допускать попадания раствора йода внутрь раны! Нельзя прикасаться к ране руками! Непосредственно на кровоточащую рану наложить стерильный бинт, марлю или чистую ткань. Поверх ткани сделать плотный валик из бинта, ваты или чистого носового платка. Валик туго прибинтовать.

Для остановки артериального кровотечения следует наложить жгут (резиновую трубку) выше места ранения. Под жгут вложить записку с указанием точного времени его наложения. Рану забинтовать стерильным бинтом и немедленно отправить пострадавшего в ближайшее лечебное учреждение. Максимальное время использования жгута — 1—1,5 ч. Если за это время пострадавший не доставлен в больницу, необходимо очень медленно и осторожно распустить жгут на несколько минут, чтобы не произошло омертвление конечности. Помните, что тяжёлое кровотечение может привести к смерти пострадавшего за 3—5 мин!

Бланк описания лесного фитоценоза

Дата _____

Автор _____

Пробная площадь _____ м²

Географическое положение _____

Название растительной ассоциации _____

Характеристика вертикальной структуры _____

1-й ярус, подъярусы _____

2-й ярус, подъярусы _____

3-й ярус _____

4-й ярус _____

1-й ярус — древесный (древостой)

Сомкнутость крон _____

Характеристика древостоя (нужное подчеркнуть)

Простой / сложный

Чистый / смешанный

Одновозрастный / разновозрастный



№	Вид	Число деревьев	Диаметр стволов (амплитуда; средний), см	Высота (амплитуда; средняя), м	Высота прикрепления крон, м	Возраст, лет	Бонитет

Формула древостоя _____

Повреждения древостоя _____

Сухостой _____

Фаут _____



Возобновление древостоя

№	Вид	Возраст, лет	Высота (амплитуда; средняя), м	Число растений	Характер распределения	Состояние

2-й ярус — куст рниковый, подлесок

№	Вид	Число кустов	Высота (амплитуда; средняя), см	Фенофаза	Состояние

Густота яруса, баллы _____

Общий облик

Общее проективное покрытие, % _____

[illegible]



4-й ярус — мохово-лишайниковый покров

Общий облик

Аспект _____

Мощность, см _____

№	Вид	Обилие	Проективное покрытие, %	Характер распределения

Внеярусная растительность

№	Вид	Обилие	Приуроченность

Бланк описания почвенного разреза

Автор _____				Дата _____			
				Подпись _____			
Почвенный разрез (полюяма) № _____		Пункт заложения (привязка)					
Мезорельеф				Схема расположения разреза по рельефу, экспозиция склона (рисунок)			
Микрорельеф							
Нанорельеф							
Степень каменистости							
Название почвы							
Глубина разреза, см	Глубина верхней и нижней границы, см						Глубина залегания грунтовых вод, см
	Вскипание		Новообразования	Пятна оглеения	Глеевый горизонт		
	слабое	сильное					



Морфологическое строение и описание профиля

Мазки (схема профиля)	Горизон- ты, глубины залегания	Цвет	Механи- ческий состав	Струк- тура	Сложе- ние, плот- ность	Включе- ния	Глубина взятия образцов

Указатель методик лабораторных и полевых исследований¹

Робот с литературой и обработкой данных

- Библиографические ссылки 204
- Список литературы 206
- Аннотации и рефераты 208
- Электронная таблица (заполнение, оформление) 209
- Подсчёты с помощью компьютера 212
- Функции математические, статистические 213
- Формулы в электронной таблице (самостоятельное составление) 214
- Диаграммы (гистограммы, графики) 216
- Статистический анализ данных выборки 220, 222, 228
- Сравнение выборочных средних 232, 233
- Корреляционный анализ 235
- график корреляционной зависимости 236

Построение компьютерных моделей

- Экспоненциальный рост численности 239
- Логистический рост численности (по уравнению Ферхюльста—Пирла) 241
- «Хищник — жертва» (модель Лотки—Вольтерра) 243
- Принцип конкурентного исключения (правило, или теорема, Гаузе) 246

Дрозофил

- Влияние химических веществ на морфологические признаки, плодовитость и выживаемость 255
- Влияние температуры на скорость развития 257
- Влияние плотности популяции на плодовитость и выживаемость 258

Микроорганизмы

- Микробиологический состав воздуха в помещении (санитарно-гигиеническое состояние воздуха) 263
- Микробиоценоз почвы (качественный состав) 265

¹ Этот указатель поможет отыскать в практикуме описание методики или рекомендацию по подготовке, выполнению биоэкологического эксперимента (наблюдения) или по обработке полученных данных. Для облегчения поиска ключевые словосочетания, отражающие суть методик, сгруппированы по темам и расположены в порядке описания методик в практикуме. Справа от ключевых словосочетаний указаны соответствующие страницы.



Человек и его деятельность

Показатели физического развития (росто-весовое соотношение, тип сложения, гармоничность физического развития) 268

Функциональное состояние и адаптивные возможности организма (состояние дыхательной системы) 272

Состояние сердечно-сосудистой системы 272

Общее состояние здоровья 273

Тип высшей нервной деятельности 276

Хронобиологический тип человека 280

Содержание загрязнителей (выбросов автотранспорта) в окружающей среде 285

Растения

Интенсивность фотосинтеза:

— у наземных растений 291

— у водных растений 292

Содержание хлорофиллов и каротиноидов в листьях 293

Содержание воды в тканях 295

Водоудерживающая способность тканей 296

Критический водный дефицит 297

Влияние света на прорастание семян 299

Глубина покоя 300

Устойчивость к засолению почв 301

Биотестирование воды и почвы 302

Наличие тяжёлых металлов в тканях 304

Наличие нитратов в тканях 306

Геоботаническое описание растительного сообщества 308

Почв

Описание почвенного разреза 318

Кислотность:

— оценивание по водной суспензии 323

— оценивание по солевой вытяжке 325

Биологическая активность 326

Механический состав 328

Водопрочность структуры 330

Объёмная масса 332

Предметный ук з тель¹

- Абстрагирование 12
Автoreгуляция, *то же, что* Самoreгуляция 160
Автотрофы 173
Активность почвы биологическая 326
Аллелопатия 120,158
Аллена правило 92
Аменсализм 119
Анабиоз, *то же, что* Диапауза 90
Анализ (мыслительный приём) 12
Аналогия 15
Аннотация 208
Антифризы биологические 89
Аспект (внешний вид растительного объекта) 312
АПУ (алфавитно-предметный указатель) 34
Аутэкология 66
ББК (Библиотечно-библиографическая классификация) 34
— индекс 34
Бентос 77
Бергмана правило 91
Библиографическая запись (библиографический текст) 204
Библиографическая ссылка 39, 204
Библиографическое описание 33, 206
Биогеоценоз 171
— строение (структура), *см.* Экосистема, пространственная структура
Биологические ритмы (биоритмы) организма:
— — — циркадные (циркадианные, суточные) 108, 280
— — — цирканые (цирканнуальные, годовые) 108, 111
— — экосистемы, *см.* Биологические циклы экосистемы
Биологические циклы экосистемы многолетние 197
— — — сезонные 197
— — — суточные 196
Биологический ноль развития 86
Биом 81

¹ Данный указатель предназначен для быстрого поиска страниц с информацией об основных терминах, упоминаемых в книге. Слова и словосочетания расположены в алфавитном порядке. Справа от них указаны страницы, где описан интересующий предмет. Части некоторых словосочетаний переставлены так, чтобы в начале находилось ключевое слово, например вместо «теорема Гаузе» — «Гаузе теорема».

- Биомасса 184
- Биометрия 44
- Биоритмы, *см.* Биологические ритмы
- Биотические факторы, *то же, что* Факторы биотические 67, 113
 - внутривидовые 113, 114
 - межвидовые 113, 114
- Биотоп 170
- Биоценоз 169
- Болезнь адаптации 166
- Бюксы металлические 332
 - стеклянные 295
- Валентность экологическая, *то же, что* Пластичность экологическая 68
- Варианта признака 56
- Вариация признака, *см.* Изменчивость признака
- Верификация гипотез 10
- Вероятности уровень, *см.* Уровень доверительной вероятности
- Видимый свет 107
- ВНД (высшая нервная деятельность) 276
- Водно-солевой обмен 102
- Водоудерживающая способность 296
- Возрастная структура популяции, *то же, что* Возрастной состав популяции 129
- Воспроизводимость опыта (эксперимента) 21
- Вторичноводные организмы 75
- Выборка (выборочная совокупность) 14, 44
 - объём 14
 - ошибка, *то же, что* Ошибка выборочной средней 58
 - сравнение выборок 49, 232
 - среднее значение, *см.* Выборочная средняя
- Выборочная дисперсия 57
 - совокупность, *см.* Выборка
- Выборочная средняя 47, 56, 223
 - — ошибка 58, 224
 - — — относительная 58, 224
 - — — разности 64, 233
- Выселение особей направленное 163, *см. также* Кочевание
- Вытеснение одного вида другим, *см.* Конкуренция, принцип конкурентного исключения
- Вытяжка солевая 325
 - спиртовая 294
- Гаузе теорема (Гаузе правило) 155, 246

- Гелиофиты, *то же, что* Светолюбивые растения 107
Генеральная совокупность 13
— средняя 57, 60, 224
Геобионты 83
Геоботаническое описание 309
Геоксены 83
Геофилы 83
Гетеротермные организмы 94
Гетеротрофы 173
Гигрофиты 99
Гидатофиты 98
Гидробионты 74
Гидрофилы 100
Гидрофиты 98
Гипотеза научная 9
— рабочая 24
— статистическая 50
Гипотермия обратимая, *то же, что* Спячка 094
Гомеостаз 195
Гомойотермные организмы 86, 91
Горизонт, *см.* Почвенный горизонт
Гормон стресса 165
ГОСТ 38, 40
Дедукция 14
Демография 125
10% правило 177, *см. также* Энергии поток в экосистеме
Детритофаги 175
Дефицит критический водный 297
Диаграмма 216
Диапауза, *то же, что* Анабиоз 90
Динамическое равновесие 194
Дисперсия, *см.* Выборочная дисперсия
Дневник исследования, *то же, что* Журнал опыта 28
Доверительный интервал 59, 63, 224, 229
Доза фактора 67
Доминант:
— у животных 137
— у растений, *то же, что* Эдификатор 308
Древостой 310
Ёмкость среды биологическая 147
Значимости уровень, *см.* Уровень значимости

- Зональность географическая (широтная, вертикальная), *см.* Биом
Зооценоз 169
Иерархия зоосоциальная 137
Изменчивость признака альтернативная 46
— — атрибутивная 46
— — дискретная 46
— — качественная 46
— — количественная 46
— — непрерывная 46
— — оценивание, *см.* Статистические показатели
Имаго 83, 164
Индукция неполная 14
— полная 13
Интенсивность экологического фактора 67
Интервальная оценка, *см.* Доверительный интервал
Инфильтрация 290
Использование территории
— интенсивное 138
— экстенсивное 138
Каннибализм 167
Каталог библиотеки (*см. также* Указатель алфавитно-предметный)
— алфавитный 36
— систематический 35
Качественный признак, *см.* Изменчивость качественная
Керн 311
Климакс 200
Количественный признак, *см.* Изменчивость количественная
Комменсализм 120
Конкуренция:
— внутривидовая 114
— косвенная 115
— межвидовая 114, 155
— принцип конкурентного исключения 155, 246
Консорция 178
Консументы 173, 176
Контроль (контрольный вариант) 26
Корреляционная зависимость 052
Корреляционный анализ 51
Корреляция, *то же, что* Корреляционная зависимость 52
— коэффициент 53
Кочевание 140

- Коэффициент вариации 58, 224
 - — качественного признака 62, 229
 - корреляции 53
 - прироста 128
- Коэффициент рождаемости 125
 - — суммарный 125
 - роста 129
 - смертности 126
- Кривая выживания вида 126
- Криофилы 70
- Критический период онтогенеза 72
- Круговорот вещества в экосистеме, *см.* Трофические связи, Энергии поток в экосистеме
- Ксенобиотики 191
- Ксерофилы 70, 101
- Ксерофиты 099
- Либиха закон, *то же, что* Минимума правило 70
- Логистического роста модель 148, 241
- Лотки—Вольтерра модель, *то же, что* «Хищник — жертва» модель 148, 243
- Макроэкосистема 171
- Мезофилы 100
- Мезофиты 99
- Мезоэкосистема 171
- Метаболит 164, 165
- Миграции животных при увеличении численности (плотности), *см.* Выселение особей направленное
 - — регулярные (повторяющиеся), *см.* Кочевание, Планктон
- Микробиоценоз 169, 195, 266
- Микроэкосистема 171
- Миксотрофы 173
- Минимума правило, *то же, что* Либиха закон 70
- Моделирование 8, 20
 - знаковое и мысленное 20
 - математическое 20
- Мониторинг 19
- Монофаги 116
- Морилка 252
- Морфоз 255
- Мутуализм 118
- Наблюдение 7, 18
- Накопления биологического эффект 192

- Научное познание теоретическое 9
- — эмпирическое 7
- Нейтрализм 121
- Нектон 77
- Нижний предел выживания 123
- Нормы зона (зона нормальной жизнедеятельности) 68
- Обилие вида 313
- Образ жизни групповой 137
- — кочевой, *см.* Кочевание
- — одиночный 137
- — оседлый, *см.* Оседлость
- Окружающая среда 66
- Олигофаги 116
- Олли принцип 161
- Оптима зона 68
- Оседлость 138
- Ошибка
- выборочной доли 63, 229
- выборочной средней, *то же, что* Выборки ошибка 58, 224
- — — относительная 58, 224
- грубая 29
- разности выборочных средних 54, 233
- систематическая 29
- случайная 29
- Палетка 14, 309
- «Паразит — хозяин», *см.* «Хищник — жертва»
- Паразитоиды 117
- Паразиты 117
- облигатные 117
- факультативные 117
- эктопаразиты 117
- эндопаразиты 117
- Первичноводные организмы 74
- Пессимума зона 68
- Пиломоторные реакции 93
- Пионерные сообщества 198
- Пирамида половозрастная 132
- Пирамида экологическая массы 183
- — численности 184
- — энергии 184
- Пищевые цепи, *см.* Трофические цепи

- Плагииат 39
- Планктон 76
- Пластичность экологическая, *то же, что* Валентность экологическая 68
- Плодовитость 256
- Плотность популяции 125
 - — механизмы регуляции 159
 - — — у растений *см.* Самоизреживание
- Повторность опыта 25
- Подъярус 310
- Пойкилотермные организмы 86
- Покоя состояние у растений 300
- Полевое исследование *см.* Эксперимент полевой, Наблюдение, Учёт
- Полифаги 116
- Полов соотношение 131
 - первичное 131
 - вторичное 131
 - третичное 131
- Половая структура популяции, *то же, что* Половой состав популяции 131
- Понятие научное 9
- Популяция 123
 - возрастной состав, *то же, что* Возрастная структура популяции 129
 - плотность 125
 - механизмы регуляции численности (плотности) 159
 - половой состав, *то же, что* Половая структура популяции 131
 - прирост 127
 - численность 123
- Потенциал размножения 146
- Потоотделение 93
- Почвенный горизонт 316
 - профиль 316
 - разрез 316, 321
- Предел выживания, *см.* Нижний предел выживания
- Прирост популяции 127
 - коэффициент 128
- Пробная площадка:
 - — геоботаническое описание 309
 - — пространственное распределение организмов 290
 - — учёт численности 19
- Продукция экосистемы вторичная валовая (ВВП) 187
 - — чистая (ЧВП) 187
- Продукция экосистемы первичная валовая (ВПП) 185

- — — чистая (ЧПП) 185
- Продуценты 173
- Проективное покрытие общее 312
- Пространственные ресурсы 137
- Протеазы 326
- Пространственное распределение особей популяции (*см. также* Территориальное поведение)
 - мозаичное (групповое) 136
 - равномерное 136
 - случайное (диффузное) 136
- Радиация
 - ионизирующая 106
 - инфракрасная 108
 - ультрафиолетовая 107
- Растительная ассоциация 308
- Растительное сообщество 169
 - — геоботаническое описание 309
- Редуценты 173
- Резистентность 196
- Репрезентативный 59
- Реферат 38, 208
- Рождаемость 125
 - коэффициент 125
 - — суммарный 125
- Самоизреживание 168
- Сапротрофы 175
- Светолюбивые растения, *то же, что* Гелиофиты 107
- Сигнальные уровни численности 160
 - факторы 159
- Симбиоз 119
- Синтез 12
- Синузия 178
- Смертность 126
 - коэффициент 126
- Сосудистые реакции 93
- Спячка, *то же, что* Гипотермия обратимая 94
- Среда жизни 66, 74
 - питательная 250, 263
- Среднее значение признака 47
 - квадратическое отклонение, *то же, что* Стандартное отклонение 47, 57, 224
- Средообразователь 157, *см. также* Эдификатор

- Стада, следующие за вожаком 143
 - — за лидером 144
 - эквипотенциального типа 143
- Стандартное отклонение, *то же, что* Среднее квадратическое отклонение 47, 57, 224
- Статистика математическая 14, 44
- Статистические зависимости 52
 - оценки (статистические характеристики) 47
 - показатели 47, 48, 53
 - критерии 50, 60
- Стенобионтные виды 69
- Стеногалинные виды 69
- Стеноигрические виды 69
- Стенотермные виды 69
- Стенотопные виды 177
- Стратегия вида экологическая (жизненная)
 - *K*- 151
 - *r*- 152
- Стресс 165
- Студента критерий, *то же, что* *t*-критерий 60
- Субклимакс 201
- Сукцессии автогенные (аутогенные) 200
 - аллогенные 200
 - вторичные (восстановления) 199
 - первичные (заселения) 198
- Суспензия дрожжевая 251
- Сухая масса (образца, пробы) 289
- Схема опыта 25
- Сциофиты, *то же, что* Тенелюбивые растения 108
- Сырая масса (образца, пробы) 289
- Темп прироста популяции 128
- Температурная компенсация 89
- Тенелюбивые растения, *то же, что* Сциофиты 108
- Теорема (правило) Гаузе, *то же, что* Принцип конкурентного исключения 155
- Теория вероятности 11, 14
 - научная 11
- Теплообмен, *см.* Гомойотермные организмы, Пойкилотермные организмы
- Теплопродукция 88, 91
- Тератогенный эффект 255
- Термин научный 9

- Терморегуляционный тонус 93
Термостабильность белков 89
Термофилы 70
Территориальное поведение 137
Тиндализация 263
t-критерий, *то же, что* Стьюдента критерий 60
Толерантность 71
Топические связи 177
Трофические связи 172
— сети 176
— уровни 176, *см. также* Энергии поток в экосистеме
Трофические цепи
— детритные 174
— пастбищные 174
Указатель алфавитно-предметный 34
Уровень доверительной вероятности 60
— значимости 60
Учёт (численности организмов) 19
— маршрутный 19
— на пробных площадках, 19, *см. также* Пробная площадка
Факторы экологические 66
— абиотические 66
— антропогенные 67
— биотические, *то же, что* Биотические факторы 67, 113
— лимитирующие 70
— сигнальные 159
— стрессирующие 165
— ультимативные 154
Фальсификация гипотез 10
Фенофаза 312
Ферхюльста—Пирла модель (уравнение), *см.* Логистического роста модель
Фитоценоз 171
Флуктуация (флюктуация) 198
Фототрофы 173
Хемотрофы 173
«Хищник — жертва», «паразит — хозяин»
— взаимоотношения 156
— модель, *то же, что* Лотки—Вольтерра модель 148, 243
Хищничество 116
Цепи выедания, *то же, что* Трофические цепи пастбищные 174
Цепи питания, *см.* Трофические цепи

Цепи разложения, *то же, что* Трофические цепи детритные 174

Циклы экосистемы, *см.* Биологические циклы экосистемы

Численность популяции 123

— — механизмы регуляции 159

— — оценивание и учёт, *см.* Учёт

Шелфорда закон толерантности 71

Шифр издания 35

Эврибионтные виды 69

Эвригалинные виды 69

Эвригигрические виды 69

Эвритермные виды 69

Эвритопные виды 177

Эдификатор, *то же, что* Доминант у растений 308, *см. также* Среδοобразователь

Экологическая ниша 155

Экосистема 170

— естественная 172

— искусственная 172

— продукция *см.* Продукция экосистемы

— пространственная структура 178

— устойчивость 196

— циклы, *см.* Биологические циклы экосистемы

Экотон 170

Эксперимент

— лабораторный 18

— модельный 20

— полевой 18

Экспоненциального роста модель 146, 239

Экстрагирование (пигментов) 293

Эмпирическое научное познание 7

Энергии поток в экосистеме 187, *см. также* правило 10% , Трофические связи

Эффект массы 160

— группы 160

Эффективных температур сумма 86

Ярус 178

→ **Оглавление**

Предисловие	→ 3
-------------------	-----

ЧАСТЬ 1

ОСНОВЫ ЭКОЛОГИИ

ГЛАВА 1. Научное познание и научные исследования

1.1. Научный взгляд на окружающий мир	→ 6
1.2. Основные принципы организации исследования	→ 20
1.3. Основы научно-библиографической работы	→ 34
1.4. Статистическая обработка данных	→ 44

ГЛАВА 2. Организм и среда обитания

2.1. Основные понятия экологии особей	→ 66
2.2. Среды жизни	→ 74
2.3. Важнейшие экологические факторы: температура	→ 85
2.4. Важнейшие экологические факторы: влажность, солёность вод	→ 97
2.5. Важнейшие экологические факторы: свет	→ 106
2.6. Биотические факторы	→ 113

ГЛАВА 3. Экология популяций

3.1. Демографические характеристики популяции	→ 123
3.2. Пространственная структура популяции	→ 135
3.3. Динамика численности популяции	→ 145
3.4. Факторы, влияющие на динамику численности популяции. Саморегуляция	→ 154

ГЛАВА 4. Экосистемы

4.1. Экосистемы и их структура	→ 169
--------------------------------------	-------

4.2. Продуктивность и энергетика экосистем - - - - -	→ 184
4.3. Динамика экосистем - - - - -	→ 194

ЧАСТЬ 2

ПРАКТИКУМ

ГЛАВА 5. Подготовка научных исследований и обработка полученных результатов

5.1. Работа с библиографическими текстами - - - - -	→ 204
5.2. Использование компьютера для анализа данных исследования - - - - -	→ 209
5.3. Вычисление статистических показателей количественной изменчивости - - - - -	→ 219
5.4. Вычисление статистических показателей качественной изменчивости - - - - -	→ 226
5.5. Сравнение двух выборок по критерию Стьюдента - - - - -	→ 230
5.6. Выявление корреляционных зависимостей - - - - -	→ 233

ГЛАВА 6. Компьютерное моделирование

6.1. Построение кривой экспоненциального роста численности популяции - - - - -	→ 238
6.2. Построение кривой логистического роста численности популяции - - - - -	→ 240
6.3. Построение модели взаимодействия в системе «хищник — жертва» - - - - -	→ 242
6.4. Построение модели, отражающей принцип конкурентного исключения - - - - -	→ 245

ГЛАВА 7. Биоэкологические исследования

7.1. Объект исследования — плодовая мушка <i>Drosophila melanogaster</i> - - - - -	→ 248
7.2. Объект исследования — микроорганизмы - - - - -	→ 261

7.3. Объект исследования — человек и его деятельность - - - - -	→ 266
7.4. Объект исследования — растения - - - - -	→ 286
7.5. Объект исследования — почва - - - - -	→ 315
Словарь научных терминов - - - - -	→ 333
Приложение 1. Значения критерия Стьюдента - - - - -	→ 354
Приложение 2. Инструкция по технике безопасности при работе в лаборатории - - - - -	→ 356
Приложение 3. Бланк описания лесного фитоценоза - - - - -	→ 360
Приложение 4. Бланк описания почвенного разреза - - - - -	→ 365
Указатель методик лабораторных и полевых исследований - - - - -	→ 367
Предметный указатель - - - - -	→ 369