

Б.М. Миркин, Л.Г. Наумова

ЭКОЛОГИЯ

(учебник для старших классов школы)

М.: Устойчивый мир, 2001

СЛОВО К ШКОЛЬНИКУ

На вашу долю выпала нелегкая судьба – принять участие в историческом процессе возрождения своей Родины. Новая Россия должна быть страной не только демократической и богатой, но и экологически чистой: без загрязняющих атмосферу заводских труб, без варварской эксплуатации лесов и почв, с озерами и реками, не отравляемыми неочищенными стоками. Лишь при восстановлении и сохранении природы возможно процветание общества.

Сегодня мы далеки от этого идеала, но положение наше не безнадежно. Есть страны, например ФРГ и Япония, добившиеся замечательных успехов в сохранении природы в значительно более трудных условиях – при меньшей обеспеченности природными ресурсами и при большей плотности населения. Их опыт показывает, что можно развивать современную промышленность, иметь продуктивное сельское хозяйство и при этом охранять природу.

На долю вашего поколения выпадает решение основных задач экологического оздоровления России. И для этого надо изучать экологию.

Чтобы улучшить экологическую ситуацию, нужны знания и средства, причем часто очень большие (именно потому самые большие успехи в охране природы – у богатых стран). Никакие крупные затраты на исправление экологических ошибок не дадут результата, если нет научно обоснованного плана действий, и никакой самый грамотный, «семи пядей во лбу», ученый-эколог ничего не сможет сделать, если не будет средств, чтобы реализовать его проект. Чем богаче и экологически грамотнее мы будем, тем скорее вылечим Россию от тяжелых экологических болезней. Уже начались годы экономического подъема, и чтобы использовать его на благо природы, сегодня каждому гражданину России нужны экологические знания.

Освоение этого предмета поможет вам научиться экологически мыслить. Вы почувствуете себя ответственными за отношения Человека и Природы, сможете оценивать причины неблагоприятной экологической обстановки на месте будущей работы, в селе или городе, в регионе, в России, в мире.

Знания в области экологии необходимы каждому человеку также, как умение читать, писать и считать. Но как для литературной работы нужны специалисты-филологи, а для математических расчетов – специалисты-математики, так и для принятия серьезных экологических решений нужны специалисты-экологи.

Специалист-эколог в любом объекте использования – водоеме, лесном массиве, поле, селе или городе – видит единство организмов и условий их жизни, называемое экологической системой (экосистемой). Он принимает решения о том, как уменьшить вред природе от воздействия человека, как перейти от эксплуатации природы к сотрудничеству с ней на основе учета сложных процессов, протекающих в этой экосистеме.

Мы надеемся, что среди тех, кто начинает изучать экологию по этому учебнику, есть и будущие экологи-профессионалы. Эколог – это интересная, нужная и благородная профессия!

Наш учебник похож на гору с тремя смотровыми площадками, расположенными на разной высоте. Если вы освоите обязательный материал (контрольные вопросы к нему выделены ??синим) и тем самым познаете азы экологии, то сможете взглянуть на мир с первой «смотровой площадки». С нее видно многое, но далеко не все.

Если вам станет интересно и вы разберетесь в дополнительном материале (контрольные вопросы к нему выделены ??красным, а кроме того, в оглавлении параграфы, относящиеся к дополнительному материалу, помечены ??красным значком), то окажетесь на второй «смотровой площадке», и для вас горизонты экологии расширятся.

Ну, а если вы освоите и справочный материал (он выделен ??зеленым цветом), а главное – почитаете рекомендованную дополнительную литературу (и книги о рациональном природопользовании и охране природы, которые издаются в вашей республике или области) и выполните индивидуальные задания по каждой главе, то поднимитесь на третий уровень и обретете довольно широкую экологическую эрудицию. С «третьей смотровой площадки» вам прямая дорога в профессиональные экологи, которых готовят в университетах, педагогических институтах и других вузах.

Подняться на каждый из трех уровней можно не только учащимся, но и их родителям. Поэтому предложите почитать им этот учебник. Ведь в школах экологию преподают сравнительно недавно, и они во время учебы в школе (и вузе тоже) могли не получить экологических знаний.

Успехов вам в изучении экологии и использовании полученных знаний в практической жизни!

ЧАСТЬ 1. ВВЕДЕНИЕ В ЭКОЛОГИЮ

Глава 1. ЧТО ИЗУЧАЕТ ЭКОЛОГИЯ?

Изучение экологии мы начнем с истории этой науки, возникшей как биологическая дисциплина об отношениях организмов и условий среды. Однако со временем экология разрослась в широкий комплекс из многих наук, большая часть которых изучает отношения с природой всего одного биологического вида – человека.

§ 1. ЭКОЛОГИЯ – НАУКА ХХ ВЕКА

Экология (от греческих слов ойкос – дом и логос – учение) – наука о взаимоотношениях организмов и условий среды. Основным объектом экологии является экосистема – совокупность организмов (животные, растения, грибы, бактерии) и среды их обитания. Кроме того, экология изучает и группы организмов одного вида, входящие в экосистемы, – популяции, и отношение к среде отдельных организмов.

Такое название науке дал Э. Геккель в 1866 г. Однако изучением этих взаимоотношений ученые занимались с давних времен, задолго до того, как Геккель «придумал» экологию. Любой натуралист – исследователь растений или животных – всегда не только ботаник или зоолог, но и эколог. Великими экологами прошлого можно назвать шведа К. Линнея (1707–1778), французов А.Л. Лавуазье (1743–1794) и Ж.Б. Ламарка (1744–1829), немца А. Гумбольдта (1769–1859), англичан Т. Мальтуса (1766–1834) и Ч. Дарвина (1809–1882).

Карл Линней создал удобную для практического использования классификацию видов растений и животных и систематизировал сведения об условиях жизни разных видов. Он писал об «экономике природы» и первым сформулировал представления об *экологическом равновесии* в природе.

Антуан Лавуазье (химик по основной специальности) в 1773 г. сформулировал представления о *круговороте веществ* в природе и выделил три группы организмов, которые в современном понимании соответствуют продуцентам, консументам и редуцентам.

Жан Батист Ламарк первым высказал мысль о том, что все живое и неживое на нашей планете составляет единое целое – *биосферу*, и предупредил человечество о возможных последствиях влияния человека на природу. Вот как звучало его мрачное пророчество: «Можно, пожалуй, сказать, что назначение человека как бы заключается в том, чтобы уничтожить свой род, предварительно сделав земной шар непригодным для обитания».

Александр Гумбольдт сформулировал представления о *жизненных формах растений*, то есть типах внешнего облика, отражающего условия среды обитания, и выявил *широтную* и *высотную зональность* в распределении животных и растений. Как и Ламарк, он подходил к идее биосферы – говорил о единстве всего живого, населяющего планету.

Томас Мальтус (священник) был первым популяционным экологом – математически описал закономерности роста числа организмов одного вида. Вслед за Ламарком он дал прогноз возможных тяжелых последствий хозяйственной деятельности человека, если его численность будет увеличиваться без предела и произойдет *перенаселение*.

Чарлз Дарвин, опираясь на идеи Линнея и Мальтуса, создал учение об *естественном отборе*, который исключает перенаселение в природе за счет отмирания более слабых особей. Он объяснил отличие естественного отбора в природе, когда преимущество получает самый приспособленный

организм, от искусственного отбора, который проводит человек при выведении сортов растений и пород животных. Искусственный отбор человек ведет исходя из полезности растений и животных. В результате отобранные им организмы теряют приспособленность к природным условиям.

В XX в. экология развивалась особенно бурно. В это время различные вопросы теории экологии разрабатывали **В. Вольтерра** (1860–1940), **Р. Пирл** (1879–1940), **Р.Л. Линдеман** (1915–1942), **Ф. Клементс** (1874–1945), **А.Дж. Лотка** (1880–1949), **А. Тенсли** (1871–1955), **Р. Макартур** (1930–1972), **Р. Уиттекер** (1920–1981), **Ч. Элтон** (1900–1991), **Дж. Э. Хатчинсон** (1903–1991) и многие другие.

Для развития экологии немало сделали русские ученые. Основы сельскохозяйственной экологии заложили **А.Т. Болотов** (1738–1833) и **Н.И. Вавилов** (1887–1943). **К.Ф. Рулье** (1814–1856) сформулировал принцип единства организма и условий среды. **В.В. Докучаев** (1846–1903) создал теорию почвообразовательного процесса. **В.И. Вернадский** (1864–1945) развил идеи Лавуазье, Ламарка и Гумбольдта и создал целостное учение о биосфере, показав геологическую роль, которую сыграли живые организмы в преобразовании нашей планеты. **В.Н. Сукачев** (1880–1967) создал учение, об однородных наземных экосистемах – *биогеоценозах*.

Заметный вклад в развитие экологии внесли **Г.Ф. Гаузе** (1910–1986; эксперименты с инфузориями, позволившие сформулировать основные положения концепции экологической ниши), **Г.Г. Винберг** (изучение продуктивности водных экосистем), **Л.А. Зенкевич** и **В.Г. Богоров** (первая карта распределения первичной биологической продукции океанов).

Зоологи **Д.Д. Кашкаров** (1878–1941) и **В.В. Станчинский** (1882–1942) много сделали для организации заповедного дела в СССР, обосновав необходимость сохранения экосистем заповедников как эталонов девственной природы.

Н.Ф. Реймерс (1931–1993) написал монографии и составил справочники по широкому кругу вопросов экологии, которые играют важную роль в становлении экологического образования в стране.

Н.Н. Моисеев (1917–2000) сформулировал представления о *коадаптации* (взаимном приспособлении) *человека и биосферы* и возможности ее квазиустойчивого («почти устойчивого») состояния при построении общества устойчивого развития.

А.М. Гиляров внес вклад в разработку вопросов истории экологии, популяционной экологии и школьного экологического образования. Он был инициатором издания и редактором многих переводных книг по экологии.

Вплоть до середины XX в. экология была равной среди прочих наук, такой же, как физика, химия, ботаника или зоология. Роль экологии резко возросла во второй половине нашего столетия, когда о ней заговорили не только ученые, но и общественные деятели – политики, писатели. К этому времени начали сбываться прогнозы Ламарка и Мальтуса, и взаимоотношения человека и природы стали опасными. Население планеты увеличивается, растут промышленные гиганты, по дорогам, густой сетью

опутавшим планету, мчатся миллионы автомобилей, в воздухе летают скоростные лайнеры. Все это загрязняет окружающую среду.

В результате хозяйственной деятельности человека истощаются запасы ископаемых ресурсов – нефти, угля и разных руд, теряют плодородие почвы, на которых выращиваются сельскохозяйственные культуры, вырубаются леса, мелеют реки, исчезает множество видов растений и животных.

Появился новый опасный фактор – радиационное загрязнение среды отходами атомных электростанций.

История планеты Земля и история человечества по продолжительности несопоставимы. Если ускорить историю планеты в 5 миллиардов раз и приравнять время ее существования к одному году, то окажется, что человек родился 31 декабря в 16 часов, сельским хозяйством начал заниматься в 23 часа 58 минут, а весь период научно-технической революции, когда его влияние на природу стало особенно пагубным, составил всего 2 секунды. Но эти секунды истории планеты – трагические. И только с помощью экологии можно дописать сценарий счастливого продолжения истории человечества и указать путь к экологически обустроенному обществу *устойчивого развития*, в котором природопользование рационально и значительная часть экосистем охраняется. Такое общество не истощает ресурсы, не загрязняет окружающую среду, охраняет биологическое разнообразие (виды растений, животных, грибов и других организмов). И процветание одного поколения не лишает такой же возможности поколений потомков.

Контрольные вопросы

1. Какие ученые внесли большой вклад в развитие экологии?
2. В чем состоит вклад в экологию русских ученых?
3. Почему экология в конце XX столетия стала важнейшей наукой?

§ 2. ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ РОССИИ

На уроках географии России вы знакомитесь с разнообразием природных условий, административной организацией и основными особенностями хозяйства нашей страны. Это гигантская территория, в составе которой – равнины, горные системы, крупные и мелкие реки, тысячи озер. На территории страны – огромные массивы лесов и плодородной пашни. Россию омывают богатые морскими ресурсами и удобные для судоходства моря трех океанов – Северного Ледовитого, Атлантического, Тихого и внутреннее Каспийское море. В недрах России – нефть, газ, уголь, железная руда и десятки видов других полезных ископаемых, которые позволяют обеспечить сырьем современное промышленное производство.

И при всем этом, в России сложилась неблагоприятная экологическая ситуация. Дело в том, что долгое время стратегию природопользования в Российской Федерации как части СССР определяли,

думая только о том, как выполнить план одного года или в лучшем случае – пятилетки. Руководители страны полагались на «неисчерпаемость» ресурсов России и беспощадно эксплуатировали ее недра, леса, почвы. Реальный уровень загрязнения окружающей среды промышленными выбросами утаивался, последствия крупных экологических катастроф, которые привели к радиоактивному или химическому загрязнению обширных регионов, скрывались (рис. 1).

Сооружались гигантские электростанции (Куйбышевская, Волгоградская) на реке Волге. В результате был нарушен естественный речной сток, и под рукотворными морями потеряны миллионы гектаров плодородной пашни и высокоурожайных лугов. Промышленные предприятия и города сбрасывают в Волгу большое количество плохо очищенных сточных вод. Ценные виды рыбы (в том числе осетровые) гибнут. Экосистема великой реки находится на грани катастрофы. Разрушаются под влиянием загрязнения и экосистемы великих русских озер – Ладоги и Байкала.

Россия была пионером атомной энергетики. Однако недостаточная надежность проектов атомных электростанций и хранилищ выработанного радиоактивного топлива стала причиной страшных катастроф в Чернобыле и Кыштыме. Эти катастрофы унесли тысячи жизней и сделали огромные территории на сотни лет непригодными для жизни людей.

Завышенная оценка способности природы самоочищаться от промышленного загрязнения стала причиной недальновидной политики территориального размещения производств и чрезмерной концентрации промышленности в ряде городов России (Кемерово, Нижний Тагил, Стерлитамак, Уфа, Челябинск, Красноярск, Братск и др.). В настоящее время ситуация в этих городах ухудшилась: обновление устаревшего и изношенного оборудования на предприятиях проводится медленно. В результате в атмосферу и воду ежегодно выбрасывается огромное количество загрязняющих веществ (на одного человека в среднем приходится 0,5 т веществ, загрязняющих атмосферу, и 20–30 м³ плохо очищенных сточных вод).

Более половины территории России занято лесами, составляющими одно из главных богатств нашей страны, но сегодня они истощены интенсивными рубками в районах лесозаготовок, приближенных к транспортным магистралям. Леса из ценных хвойных пород – ели, пихты и сосны сменяются малоценными мелколиственными из осины, березы, ольхи. Сокращается поголовье пушных зверей, в особенности соболя, уменьшаются запасы кедрового ореха и целебных ягод: брусники, черники, клюквы.

Разработка месторождений нефти и газа в Сибири и строительство трубопроводов для их транспортировки разрушили миллионы гектаров экосистем тундры и лесотундры. Трубопроводы перекрыли естественные пути миграции оленей, разлитая нефть загрязнила реки, озера, большие массивы тундры и тайги.

Нерациональное использование земель стало причиной развития эрозии почв, которая снижает их плодородие. Чрезмерно высокое поголовье

скота ухудшило состояние пастбищ во всех природных зонах – от тундры до полупустыни.

Немало сложных экологических проблем возникло в морских акваториях из-за их загрязнения при добыче нефти в зоне прибрежного шельфа, захоронении отходов, сбросе в моря промышленных и коммунальных стоков крупных городов. Нерациональный вылов морской рыбы истощил ресурсы этого ценнейшего продукта питания человека.

Быстро снижается биологическое разнообразие природы России – гибнут экосистемы лесов, тундр, болот, каждый десятый вид растений и животных находится на грани исчезновения, и список этих видов растет. В то время как экономически развитые страны отводят до одной трети своей площади под охраняемые территории, их доля в РФ составляет чуть больше 5% (в СССР охранялось не более 1%). При этом значительная часть этой территории охраняется неэффективно. Впрочем, в последние 10–15 лет количество и площадь заповедников, национальных парков и других особо охраняемых природных территорий в России начали увеличиваться.

Нерациональное (истощительное) природопользование снижает прибыльность многих отраслей хозяйства и понижает качество среды обитания человека, в результате чего ухудшается здоровье населения России. Из-за загрязнения токсичными веществами атмосферы, воды, продуктов питания сокращается продолжительность жизни человека. Рост числа больничных коек не может догнать возрастающего числа больных. Особенно серьезно сказывается неблагоприятная экологическая обстановка на здоровье детей.

Кроме региональных бед экологическую ситуацию ухудшают глобальные процессы. Происходит постепенное увеличение концентрации диоксида углерода (углекислого газа) в атмосфере и потепление климата, появляются «дыры» в озоновом экране, задерживающем губительные для жизни ультрафиолетовые лучи. Западные ветры приносят из Европы воздушные массы, загрязненные промышленными выбросами.

Сложную экологическую ситуацию, которая сформировалась в России за десятилетия истощительного природопользования, нельзя улучшить за несколько месяцев и даже за несколько лет. Нужны годы упорного труда, большие вложения средств и хорошо продуманная программа, устанавливающая очередность модернизации экологически опасных производств, строительства мощных очистных сооружений и т.д. Всем нам придется еще потерпеть и не стремиться решать свои региональные проблемы в первую очередь, не относиться к экологически опасным, но нужным для хозяйства страны производствам по принципу «только не у нас». Именно поэтому Правительство России разработало специальную долгосрочную программу «Экологическая безопасность России», а также приняло «Концепцию перехода Российской Федерации к устойчивому развитию».

1. Какие последствия нерационального природопользования проявляются сегодня на территории России?

2. Назовите основные причины тяжелого экологического положения России?

Справочный материал

Российская Федерация унаследовала экологические беды, связанные с бесхозяйственным использованием ресурсов и энергии в СССР. Население страны составляло всего 6,7% от населения земного шара, а на его долю приходилось 16% мирового производства электроэнергии, 22 – стали, 27 – нефти, 42% – природного газа. Железной руды в СССР добывалось почти в 5 раз больше, чем в США, и в 5 раз больше выпускалось тракторов. На пастбищах паслось в два с лишним раза больше коров, чем в США, но продукции они давали меньше: среднесуточные удои были в 2,5, а привесы – в 4 раза ниже.

При этом производство было не только ресурсо- и энергоемким, но и грязным. На тысячу долларов стоимости национального продукта в СССР выбрасывалось в атмосферу 19 кг опаснейшего атмосферного загрязнителя – оксида серы (сернистого газа), в США – 7, а в Японии – всего 1 кг.

Полезные ископаемые добывались с огромными издержками. Так, в Западной Сибири к 1991 г. было добыто 5,5 млрд. т нефти, при этом разлито 100 млн. т. Нефтяники не просто потеряли 2% топлива, а вызвали экологические катастрофы во многих экосистемах районов нефтедобычи. При разработке Курской магнитной аномалии был вырыт карьер глубиной 500 м и длиной 500 км.

Далеко не столь благоприятно, как считалось во времена существования СССР («наша страна – самая богатая всеми природными ресурсами»), складывается в России ситуация с обеспечением сырьевыми ресурсами. Запасы нефти «выработаны» более, чем наполовину, что удорожает добычу этого важнейшего энергоносителя. В два раза снизилась добыча каменного угля. Добыча урана составляет сегодня примерно 50% количества, необходимого нашим АЭС. Вследствие истощения ресурсов в два раза снизилась добыча апатитов – основного сырья для производства фосфорных удобрений. Обеспеченность ресурсами во многом ухудшается и потому, что наша страна экспортирует около 30% нефти и газа, более 80% никеля, алюминия и меди, что дает до 70% ее валютной выручки.

После распада СССР Российская Федерация лишилась месторождений хрома и марганца – металлов, которые необходимы для производства высококачественной стали.

Самая богатая лесом страна – Россия находится на 47-м месте в мире по производству бумаги. Леса европейской части России истощены чрезмерными рубками, и карельские бумажные комбинаты работают на привозном сырье из Сибири и Сахалина.

К моменту распада СССР Российская Федерация по демографическим показателям и качеству здоровья населения значительно уступала развитым странам. К концу 90-х гг. вследствие реформ и ухудшения социально-экономического положения значительной части населения ситуация ухудшилась еще больше. В 1995 г. средняя продолжительность жизни мужчин составляла 59 лет, а женщин – 72 (для сравнения: эти же показатели в США – 72 и 74, а в Японии – 76 и 83 года).

Младенческая смертность в Российской Федерации приближается к 20 на тысячу родившихся (в США – 9, в Японии – 4). Особенно неблагоприятна демографическая ситуация в Восточной Сибири, где средняя продолжительность жизни населения на 5 лет меньше, чем в Центрально-Черноземной области.

Ухудшилось качество здоровья населения. Увеличилось число больных как «обычными» болезнями (заболевания сердечно-сосудистой, пищеварительной, дыхательной системы), так и особо опасными. Заболеваемость туберкулезом в РФ в 17 раз выше, чем в США, а число больных сифилисом по сравнению с периодом перед реформами возросло в 60 раз (в том числе резко увеличилось число больных среди детей школьного возраста). Возросло число больных раком.

В результате Чернобыльской катастрофы дозу облучения получило 20 миллионов человек; все, кто получил высокую дозу радиации в течение часа, умерли (примерно 4 тысячи человек).

В последние годы наметились и некоторые положительные тенденции в природопользовании. Так, за период с 1991 по 1998 гг. общее количество воды, которая используется в России, снизилось со 120 до 90 км³ (при этом доля подземных вод составляет 14%). Промышленность расходует около 60% воды, сельское и коммунальное хозяйство – по 20%. Объем сбрасываемых загрязненных вод уменьшился в 2 раза. Выброс загрязняющих веществ в атмосферу в разных регионах сократился на 5-13% (хотя выбросы оксида азота ввиду роста автомобильного парка увеличились).

§ 3. СТРУКТУРА ЭКОЛОГИИ

Экология – это комплекс наук. В ее составе три главных части – общая, прикладная и социальная экология.

Общая экология. Самая традиционная часть экологии, биологическая наука, которая изучает приспособление организмов к условиям среды и их совокупности – популяции (один вид) и экосистемы (много разных видов). Общая экология изучает и самую большую экосистему нашей планеты – биосферу.

Прикладная экология. Включает много наук, которые разрабатывают технологии рационального природопользования и охраны природных ресурсов. Главными науками прикладной экологии являются следующие:

– *лесная экология* изучает способы использования ресурсов лесов (древесина, промысловые животные, ягоды и др.) при их постоянном воспроизводстве и роль, которую играют леса в поддержании водного режима ландшафтов;

– *экология тундр* изучает пути рационального природопользования в тундре и лесотундре – оленеводства и охоты. В последнее десятилетие важным направлением стало изучение влияния на экосистемы тундр добычи нефти и газа и разработка способов уменьшения вредоносного воздействия промышленности;

– *экология морей* изучает влияние хозяйственной деятельности человека на морские экосистемы: использования биологических ресурсов, загрязнения при добыче на шельфе нефти и газа, сброса в воду промышленных и бытовых стоков и твердых отходов, в том числе с морских судов. Эта наука разрабатывает методы восстановления и поддержания популяций морских животных;

– *сельскохозяйственная экология* изучает способы получения сельскохозяйственной продукции без истощения ресурсов пашни и лугов, при сохранении окружающей среды и производстве экологически чистых (не загрязненных опасными для здоровья человека веществами) продуктов;

– *промышленная экология* изучает влияние выбросов промышленных предприятий на окружающую среду и возможности уменьшения этого влияния за счет совершенствования технологии и очистных сооружений;

– *городская экология* изучает возможности улучшения среды обитания человека в городе и уменьшения пагубного влияния городов на окружающие их естественные и сельскохозяйственные экосистемы.

Некоторые науки экологического комплекса выделены не по объекту изучения, а по методам, которыми они пользуются:

– *математическая экология* моделирует и прогнозирует экологические процессы, т.е. изменения в природе, которые произойдут при изменении экологических условий;

– *химическая экология* разрабатывает методы определения концентраций загрязняющих веществ, попадающих в атмосферу, воду, почву, продукты питания, способы химической очистки газообразных, жидких и твердых отходов и новые технологии производства, при которых количество отходов уменьшается.

Социальная экология исследует общие закономерности взаимоотношений общества и природы, разрабатывает пути их гармонизации и предотвращения экологического кризиса. Поскольку эта наука изучает социальные последствия влияния человека на природу во всех сферах его хозяйственной деятельности, то ее интересы пересекаются с городской, сельскохозяйственной, лесной экологией, экологией тундр и др. Социальный аспект отношений человека и природы наиболее важен при изучении экологии биосферы.

В состав социальной экологии входят следующие науки:

– *медицинская экология* изучает болезни человека, связанные с загрязнением среды, способы их предупреждения и лечения. Здоровье населения любой территории – лучший показатель состояния среды его обитания;

– *экономическая экология* разрабатывает экономические механизмы рационального природопользования – оценки стоимости ресурсов (вода, древесина, нефть и т.д.) и размеры штрафов за загрязнение среды, обосновывает наиболее эффективные формы вложения средств в улучшение экологической ситуации;

– *экологическое право* разрабатывает систему законов, направленных на защиту природы. Юристы-экологи выступают адвокатами природы в судебных процессах, связанных с экологическими преступлениями или нарушениями законов рационального природопользования.

К социальной экологии относятся и науки, разрабатывающие методы воспитания экологического самосознания (*экологическая этика, экологическая культура*).

Специалисты разных наук экологического комплекса при решении конкретных экологических задач часто объединяются в научные команды. Так, в решении вопросов лесной экологии могут принимать участие математики–экологи, экономисты–экологи и юристы–экологи, а при решении вопросов медицинской экологии к медикам–экологам должен присоединиться еще и химик–эколог, который может проследить судьбу химических веществ, выброшенных предприятиями в окружающую среду, предложить способы уменьшения их вредного влияния на здоровье человека.

Контрольные вопросы

1. Почему современная экология – это не одна наука, а междисциплинарный научный комплекс?
2. Что изучает общая экология?
3. Какие науки входят в состав прикладной экологии?
4. Какие науки входят в состав социальной экологии?

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Термин «экология» появился немногим более ста лет назад, но истоки этой науки уходят глубоко в историю биологии и экономики. Уже в XVIII в. А. Лавуазье разрабатывал представления о круговороте веществ в экосистемах, а Ж.Б. Ламарк и Т. Мальтус дали прогноз возможных тяжелых последствий хозяйственной деятельности человека для природы.

Экология бурно развивалась в XX в. и превратилась из биологической науки в комплекс из многих наук, большая часть которых изучает отношения окружающей среды и всего одного биологического вида – человека разумного.

Состояние природных ресурсов Российской Федерации, к сожалению, подтверждает прогнозы Ламарка и Мальтуса. По степени нарушения водоемов, лесов, почв, по уровню загрязнения среды и, как следствие, по состоянию здоровья населения Россия худшую сторону отличается от экономически развитых стран. Причиной тяжелой экологической ситуации была хищническая система использования ресурсов, которые казались неисчерпаемыми. На единицу производства любого продукта – трактора, холодильника, 1 кг хлеба или масла – в нашей стране затрачивалось ресурсов и энергии в несколько раз больше, чем в странах, где их уже научились беречь. И веществ, загрязняющих окружающую среду, выбрасывалось также больше.

России предстоит изменять систему использования природных ресурсов и внедрять эколого-экономические принципы рационального природопользования, которые сделают истощительное использование ресурсов невыгодным. Нужно воспитать нового экологически грамотного россиянина, который будет ответственно относиться к окружающей среде и делать все возможное для ее сохранения. Улучшить экологическую ситуацию должна помочь экология – комплекс наук, включающий биологическую дисциплину «общую экологию», много прикладных наук, нацеленных на разработку принципов рационального природопользования в разных экосистемах – лесных, водных, сельскохозяйственных, городских и др., и социальную экологию, объединяющую науки об отношениях природы и общества.

Предмет, который вам предстоит изучить, включает основы общей экологии, исследующей отношения окружающей среды и отдельных организмов, популяций, экосистем; прикладную экологию – принципы рационального природопользования и охраны природы; основные положения социальной экологии о возможностях гармонизации отношений общества и природы.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Учебники, учебные пособия и справочники:

Бигон М., Харпер Дж., Таунсенд К. Экология: особи, популяции и сообщества. /Под ред. А.М. Гилярова. В 2-х т. М.: Мир, 1989.

Грин Н., Стаут У., Тейлор Д. Биология: в 3-х т. М.: Мир, 1990. Т. 2.

Миллер Т. Жизнь в окружающей среде. В 3-х т. М.: Прогресс – Пангея, 1993 – 1995.

Миркин Б.М., Наумова Л.Г. Популярный экологический словарь /Под ред. проф. А.М. Гилярова. М.: Устойчивый мир, 1999.

Миркин Б.М., Наумова Л.Г. Ролевые игры по экологии. М.: Устойчивый мир, 2000.

Небел Б. Наука об окружающей среде. В 2-х т. М.: Мир, 1993.

Окружающая среда. Энциклопедический словарь-справочник. Пер. с нем. М.: Прогресс, 1993.

Одум Ю. Экология: в 2-х т. М.: Мир, 1986.

Ревелль П., Ревелль Ч. Среда нашего обитания. В 4-х кн. М.: Мир, 1995.

Реймерс Н.Ф. Природопользование: Словарь-справочник. М.: Мысль, 1990.

Реймерс Н.Ф. Охрана природы и окружающей человека среды: Словарь-справочник. М.: Просвещение, 1992.

Этот список включает руководства по всем вопросам экологии. Самое краткое и простое изложение вопросов – в книге Н. Грина с соавторами, а самое простое и полное – в двухтомнике Б. Небела. Эти книги представляют уровень «второй смотровой площадки».

Два двухтомника – Ю. Одума и М. Бигона с соавторами – книги для студентов, но написаны простым языком. Тем, кто решил углубить свои знания по экологии и взглянуть на экологические проблемы «с третьей смотровой площадки», они вполне по силам. Для них также будут полезны насыщенные примерами рационального природопользования книги Т. Миллера и П. и Ч. Ревеллей.

«Окружающая среда» – справочник, который составлен немецкими учеными из группы «Катализ», работающей в Кельне и изучающей возможности уменьшения пагубного влияния на среду большой и малой химии. В нем вы найдете информацию о промышленной экологии и бытовой химии.

В двух словарях, написанных Н.Ф. Реймерсом, можно найти четкое определение и объяснение практически любого экологического термина.

Словарь Б.М. Миркина и Л.Г. Наумовой – дополнение к учебникам. Он содержит 500 основных понятий и терминов по всему спектру вопросов экологии. Особенно полезен словарь будет для тех, кто решил изучать экологию с «третьей смотровой площадки». Книга тех же авторов о ролевых играх по экологии содержит сценарии школьных вечеров, в игровой форме обсуждаются основные вопросы современной экологии – от отношений между организмами в экосистеме и происхождения культурных растений до концепции устойчивого развития мирового сообщества. Книгу можно читать и «в одиночку», так как игровые ситуации (часто забавные) позволяют легко понять суть самых сложных проблем экологии.

2. Основные периодические издания России по экологии:

Журнал «Энергия (экономика, техника, экология)». Это авторитетный научно-популярный журнал по вопросам рационального природопользования. На его страницах публикуются статьи по широкому кругу проблем экологической экономики и энергетики. Если вас интересуют конкретные вопросы природопользования, просматривайте в библиотеке подшивки этого журнала за прошлые годы и постарайтесь читать его. Будет хорошо, если вы станете подписчиками журнала.

Газета «Зеленый мир». Это еженедельная общероссийская некоммерческая научно-публицистическая и информационно-методическая

газета, центральный печатный орган российских общественных экологических движений. В газете публикуется хроника экологических событий, происходящих в нашей стране.

Журнал «Экология и жизнь». Научно-популярный журнал издательского объединения «Устойчивый мир». Его главным редактором был академик Н.Н. Моисеев. В журнале публикуются проблемные статьи по актуальным вопросам прикладной и социальной экологии и экологического образования.

Аналитические ежегодники «Россия в окружающем мире». (Отв. ред. Н.Н. Марфенин /Под общей редакцией: Н.Н. Моисеева, С.А. Степанова. М.: Изд-во МНЭПУ.) Это сборники статей издаются Московским независимым эколого-политологическим университетом и содержат самую разнообразную информацию по проблемам экологии в России и мире. В сборниках перепечатываются наиболее важные статьи из американского ежегодника «State of the world». Вышло уже два ежегодника – 1998, 1999. Многие цифры, которые приведены в учебнике, заимствованы именно из этих изданий.

3. Прочие книги по экологии:

XX век: последние 10 лет. 1990 – 1991. Сборник статей из ежегодников «State of the world», издаваемых институтом «Worldwatch». М.: Прогресс – Пангея, 1992.

В этом сборнике опубликованы статьи о состоянии окружающей среды в России, СНГ и странах бывшего социалистического лагеря.

Мордкович В.Д., Гиляров А.М., Тишков А.А., Баландин С.А. Судьба степей. Новосибирск: Мангазея, 1997.

Популярный и увлекательный рассказ об истории и современном состоянии степных экосистем планеты – об их климате, почвах, растениях, животных.

Эдмондсон Т. Практика экологии. Об озере Вашингтон и не только о нем /Под ред. д-ра биол. наук А.М. Гилярова. М.: Мир, 1998.

Это живо написанный рассказ о том, как удалось спасти от загрязнения экосистему озера Вашингтон. И о том, как должны вести себя представители «зеленых», чтобы их усилия были более результативными.

Фешбах М., А. Франдли младший. Экоцид в СССР. Здоровье и природа на осадном положении. М., 1992.

Вайнер Д. Экология в Советской России. Архипелаг свободы: заповедники и охрана природы. М.: Прогресс, 1991.

Эти две книги написаны американскими экологами, искренне обеспокоенными катастрофическим состоянием природной среды в нашей стране. Они насыщены фактическими данными. К сожалению, тираж книг невелик, но их можно найти в центральных библиотеках или договориться, чтобы библиотеки, в которых вы берете книги, выписали их по межбиблиотечному абонементу. Предупреждаем, эти книги читать очень тяжело, но они отражают ту ситуацию, в которой находится Россия. И потому

с их содержанием нужно знакомиться в первую очередь тем, кто решит посвятить свою жизнь экологии и делу экологического оздоровления России. Нужно знать правду, какой бы горькой она ни была.

Индивидуальное задание

Темы рефератов:

1. Экологическая ситуация в моем городе (селе, на территории сельскохозяйственного предприятия и т.д.).

Чтобы написать такой реферат, нужно посмотреть подшивки газет за 2–3 последних года, где опубликовано немало материалов по экологии. Не откажут в помощи и специалисты из административных органов, которые ведают вопросами охраны природы. Не стремитесь охватить все «болевы точки» экологии своего города или района, а рассмотрите наиболее опасные для природы и человека экологические ошибки природопользования.

2. Почему экология переросла рамки биологической науки.

Проанализируйте историю экологии и покажите, как в результате влияния человека, резко усилившегося во второй половине XX в., ухудшилось состояние окружающей среды. Обоснуйте необходимость изучения происходящих процессов с целью уменьшения их пагубных последствий для природы. Покажите необходимость участия в этих исследованиях представителей самых разных областей знания.

Литературы по этим темам много, список основных книг приведен выше.

ЧАСТЬ 2. ОБЩАЯ ЭКОЛОГИЯ

Глава 2. ОРГАНИЗМ И УСЛОВИЯ СРЕДЫ

Организм и условия внешней среды составляют единство. Из внешней среды организм получает необходимые ему для жизнедеятельности вещества и энергию, в среду он выделяет «отходы» жизнедеятельности. Рассмотрим факторы среды, приспособления (адаптации) организмов к этим факторам и типы организмов по их приспособлениям к внешней среде: экологические группы, жизненные формы и жизненные стратегии.

§ 4. КЛАССИФИКАЦИЯ ФАКТОРОВ СРЕДЫ

Факторы среды (экологические факторы) – это любые свойства или компоненты внешней среды, которые влияют на организмы.

Факторы среды делятся на *абиотические*, т.е. факторы неорганической, или неживой, природы, и *биотические* – порожденные жизнедеятельностью организмов.

Совокупность абиотических факторов в пределах однородного участка называется *эктопом*, вся совокупность факторов, включая биотические, – *биотопом*.

К абиотическим факторам относятся:

климатические – свет, тепло, воздух, вода (включая осадки в различных формах и влажность воздуха);

эдафические, или почвенно-грунтовые, – механический и химический состав почвы, ее водный и температурный режим;

топографические – условия рельефа.

Климатические и эдафические факторы во многом определяются географическим положением экотопа – его удаленностью от экватора и от океана и высотой над уровнем моря.

Среди факторов среды различаются также *прямые* и *косвенные*.

Прямые экологические факторы непосредственно влияют на растения. Примеры прямых факторов: увлажнение, температура, богатство почвы питательными элементами и др.

Косвенные экологические факторы действуют на растения опосредствованно – через прямые факторы среды. Примеры косвенных факторов: географическая широта и удаленность от океана, рельеф (высота над уровнем моря и экспозиция склона), механический состав почвы. С подъемом в горы изменяется климат (количество осадков и температурный режим); экспозиция и крутизна склона влияют на интенсивность прогревания поверхности почвы и режим ее увлажнения. Механический состав почвы (соотношение песчаных, глинистых и илистых частиц) влияет на растения и почвенную фауну через режим увлажнения и динамику питательных элементов.

Кроме того, прямые абиотические факторы среды разделяются на *условия* и *ресурсы*.

Условия – это факторы среды, которые организмы не потребляют. К их числу относятся температура, влажность воздуха, соленость воды, реакция почвенного раствора, содержание в воде и почве загрязняющих веществ, которые не используются растениями как элементы питания.

Ресурсы – это факторы среды, которые потребляются организмами. Поэтому один более сильный организм может «съесть» ресурсов больше, и другому более слабому их останется меньше.

Для растений ресурсами являются свет, вода, элементы минерального питания, диоксид углерода; для животных – биомасса растений, живые животные или мертвое органическое вещество. Необходимым ресурсом для подавляющего большинства организмов является кислород.

Ресурсом может быть пространство. Растения для прохождения жизненного цикла, должны получить определенную площадь «под солнцем» и некоторый объем почвы для потребления воды и элементов минерального питания (площадь питания). Растительноядным животным нужен участок «пастбища» (для тли это будет часть листа, для косяка лошадей – десяток

гектаров степи, для стада слонов – десятки квадратных километров), плотоядным животным – охотничий надел.

Изредка возможна и чисто физическая нехватка пространства. Так, крокусы даже выталкивают «лишние» луковицы из земли. В поселениях мидий раковины так плотно прижаты друг к другу, что между ними не может втиснуться новый претендент на место.

Биотические факторы являются следствием взаимоотношений организмов. Для растений – это *конкуренция*, влияние животных (растительноядных, паразитов, опылителей, распространителей плодов и семян), грибов (микоризных, паразитических), бактерий (азотфиксирующих и болезнетворных), вирусов. Для животных – это обеспеченность ресурсами питания, конкуренция, влияние хищников, патогенных микроорганизмов.

Факторы, связанные с влиянием человека, выделяются в отдельную группу *антропогенных факторов*.

К наиболее существенным антропогенным факторам относятся химическое загрязнение воды, атмосферы и почвы, техногенное нарушение экосистем при разработке полезных ископаемых, выпас скота, рекреационное влияние, промысел животных, заготовка растительного сырья и др.

В настоящее время роль антропогенных факторов резко возросла, и потому изучение последствий их влияния и разработка способов регулирования отношений человека и природы являются важнейшими проблемами прикладной экологии.

Совокупности факторов абиотической среды формируют *среды жизни* – наземно-воздушную, водную, почвенную. Для многочисленных видов-паразитов средой жизни является организм хозяина.

Эти среды жизни различаются по условиям существования для организмов. Водная среда отличается высокой плотностью, теплопроводностью, способностью растворять соли и газы. Температурный режим в ней мягче, чем на суше. Для наземно-воздушной среды характерно обилие кислорода, света, резкие изменения температуры, перепады давления и периодический дефицит влаги. Почвенная среда состоит из трех фаз: твердые частицы почвы пронизаны порами и полостями, заполненными частично водой, частично воздухом. Организм как среда жизни паразитов характеризуется практически неограниченным запасом пищи и надежной защитой.

Разные организмы используют разные среды жизни, причем, если рыбы или почвенные животные используют одну среду (соответственно водную и почвенную), то растения связаны с двумя и даже тремя средами (почвенной, наземно-воздушной и водной), две среды жизни используют амфибии (лягушки) и некоторые паразиты, которые часть жизненного цикла проводят в водной или наземно-воздушной среде.

Разнообразием условий существования организмов в разных частях планеты и в разных экотопах объясняется *биологическое разнообразие* – разнообразие живых организмов.

Контрольные вопросы

1. Перечислите абиотические факторы среды.
2. Чем отличаются факторы-ресурсы от факторов-условий?
3. В каких случаях ресурсом является пространство?
4. Назовите основные среды жизни и приведите примеры организмов, использующих одну, две и три среды.

(ДОП.) § 5. ОРГАНИЗМЫ КАК ПИЩЕВЫЕ РЕСУРСЫ

Главными ресурсами для животных являются другие организмы. Возможны три варианта их использования.

Хищничество – питание организмами-ресурсами, бывшими до момента превращения их в пищевой объект живыми. Организм-ресурс или умерщвляется (как при съедании зайца волком) или поедается по частям при сохранении его живым (поедание растений растительноядными животными).

Паразитизм – питание веществами живого организма-ресурса.

Детритофагия – питание мертвым органическим веществом.

Познакомимся с различиями питательных качеств организмов-ресурсов – химического состава и усвояемости. Эти качества различаются у организмов-ресурсов из царств растений и животных. У растений клеточные оболочки образованы целлюлозой и лигнином, по этой причине количественное соотношение углерода и азота (C:N) в растительных тканях составляет от 20:1 до 40:1. У животных, клетки которых лишены «целлюлозного чехла», содержание углерода гораздо ниже, и это соотношение составляет от 8:1 до 10:1.

Большинство фитофагов не обладают способностью переваривать целлюлозу (у них нет соответствующих ферментов), по этой причине усвояемость растительной пищи всегда очень низкая. Фитофаги пережевывают пищу, чтобы механически разрушить оболочки клеток, но этого оказывается недостаточно. Усваивать растительную пищу фитофагам помогают прокариоты и низшие животные, которые обладают ферментами, разрушающими целлюлозу. «Помощники» живут в пищеварительной системе фитофагов и связаны с ними отношениями взаимовыгодного сотрудничества. По этой же причине детритофаги предпочитают поедать растительный детрит не в «свежем» состоянии, а когда он уже заселен микроорганизмами-редуцентами.

Разные ткани растений имеют разный химический состав: концентрация азота и других элементов минерального питания выше в меристематических тканях, клетки которых делятся, а углеводов – в ситовидных трубках флоэмы и в некоторых запасующих тканях (в клубнях, семенах), которые являются наиболее питательными частями растений.

Самые высокие концентрации целлюлозы и лигнина – в старых и мертвых тканях, например в древесине и коре. Эти различия химического состава разных тканей служат причиной специализации насекомых-фитофагов (например, разных видов дубовой галлицы, личинки которых

питаются молодыми и старыми листьями, вегетативными почками, мужскими цветками, тканями корня и т.д.). Большинство насекомых-фитофагов избегает потребления старых одревесневших тканей.

У плотоядных животных проблем с пищеварением нет, они не пережевывают пищу, а только разрывают ее на куски или заглатывают добычу целиком. Если для фитофагов главная проблема состоит в переваривании пищи, то плотоядных заботит то, как добычу отыскать, изловить, умертвить и съесть.

Контрольные вопросы

1. Какие варианты использования организмами других организмов как пищевых ресурсов существуют в природе?
2. Почему фитофагам трудно переваривать растительную пищу?
3. Какую роль в питании фитофагов играют микроорганизмы, обитающие в их пищеварительной системе.
4. Почему детритофаги предпочитают поедать мертвое органическое вещество, которое заселено микроорганизмами?
5. Чем отличаются питательные качества растительной и животной пищи?

§ 6. ОСНОВНЫЕ ЗАКОНЫ ОТНОШЕНИЙ ОРГАНИЗМОВ И УСЛОВИЙ СРЕДЫ

Изучением отношения отдельных видов к условиям среды начиналась экология в работах ее предтеч в XVIII-XIX вв. Этот раздел экологии называется *аутэкологией* (собственно экологией, или экологией в узком смысле). В основе аутэкологии лежат три основных закона.

Закон оптимума: по любому экологическому фактору любой организм имеет определенные пределы распространения (пределы толерантности).

Как правило, в центре ряда значений фактора, ограниченного пределами толерантности, лежит зона оптимума – область наиболее благоприятных условий жизни организмов, при которых формируется самая большая биомасса и численность особей. Напротив, у границ толерантности расположены зоны угнетения организмов, когда численность особей падает. Это экстремальные условия, при которых организмы становятся уязвимыми к действию и других неблагоприятных экологических факторов (включая влияние человека, рис. 2).

Разные виды имеют разную амплитуду распределения по разным градиентам факторов среды. Виды с узким распределением называются *стенотопными*, с широким – *эвритопными*. Виды переходной группы называются *мезотопными* (рис. 3).

Удобным примером для иллюстрации этого закона является отношение видов к температуре. Виды дождевых тропических лесов выносят перепады температуры не более 8° С, то есть являются стенотопами, а

лиственница даурская в Якутии – 100° (от +30° до –70° С), это типичный эвритоф. Карась – эвритоф по отношению к содержанию кислорода в воде, а хариус и форель, обитающие в горных реках, по отношению к этому фактору – стенотопы. Они погибают даже при незначительном снижении концентрации растворенного в воде кислорода. (Рис. 4).

Закон индивидуальности экологии видов: каждый вид по каждому экологическому фактору распределен по-своему, кривые распределений разных видов перекрываются, но их оптимумы различаются.

По этой причине при изменении условий среды в пространстве (например, от сухой вершины холма к влажному лугу) или во времени (при пересыхании озера, усилении выпаса, зарастании скальной поверхности) состав экосистем изменяется постепенно. Известный российский эколог Л.Г. Раменский сформулировал этот закон образно: «Виды – это не рота солдат, марширующих в ногу».

Закон лимитирующего (ограничивающего) фактора: наиболее важным для распределения вида является тот фактор, который больше всего отклоняется от оптимальных для организма значений (находится в максимуме или минимуме).

Так, в тундровой зоне лимитирующим фактором является количество тепла, так как влаги там достаточно, а обеспеченность элементами питания также зависит от тепла: чем теплее субстраты, тем активнее идет в них процесс образования гумуса и меньше накапливается неразложившихся остатков растений.

В зоне тайги лимитирующим фактором является обеспеченность почв питательными элементами. Почвы, формирующиеся на карбонатных породах, которые богаты кальцием и другими минеральными элементами, позволяют формироваться очень продуктивным сообществам растений. Во всех остальных случаях почвы бедны элементами минерального питания.

В лесостепной и степной зонах лимитирующий фактор – увлажнение, так как здесь почвы (черноземы) богаты питательными элементами. На действие этого лимитирующего фактора может накладываться влияние выпаса, а в южной части степной зоны – засоление почвы.

Для многих животных в условиях умеренного климата лимитирующим фактором является глубина снежного покрова. Свободное перемещение по глубокому снегу свойственно сравнительно небольшому числу видов, имеющих «лыжи» (заяц-беляк, заяц-русак, белая куропатка) или длинные ноги (лось). (Рис. 5). Глубокий снег – препятствие для перемещения волка и кабана.

Контрольные вопросы

1. Приведите примеры видов-стенотопов и видов-эвритопов.
2. Какое значение в природе имеет индивидуальность экологии видов?
3. Проанализируйте изменение состава лимитирующих факторов на градиенте широтной зональности от тундры до пустыни.

§ 7. АДАПТАЦИИ (ПРИСПОСОБЛЕНИЯ) ОРГАНИЗМОВ К УСЛОВИЯМ СРЕДЫ

Адаптация – это приспособление организма к условиям среды за счет комплекса морфологических, физиологических, и поведенческих признаков.

Разные организмы приспосабливаются к различным условиям среды, и в результате появляются влаголюбивые-*гидрофиты* и «сухотерпцы»-*ксерофиты* (рис. 6); растения засоленных почв – *галофиты*; растения, устойчивые к затенению (*сциофиты*), и требующие для нормального развития полного солнечного света (*гелиофиты*); животные, которые обитают в пустынях, степях, лесах или на болотах, ведут ночной или дневной образ жизни. Группы видов со сходным отношением к условиям среды (то есть живущих в одних и тех же экотопах) называются *экологическими группами*.

Способности адаптироваться к неблагоприятным условиям у растений и животных различаются. В силу того, что животные подвижны, их адаптации более разнообразны, чем у растений. Животные могут:

- избегать неблагоприятных условий (птицы от зимней бескормицы и холода улетают в теплые края, олени и другие копытные кочуют в поисках корма и т.д.);

- впадать в анабиоз – временное состояние, при котором жизненные процессы настолько замедлены, что почти полностью отсутствуют их видимые проявления (оцепенение насекомых, спячка позвоночных животных и др.);

- приспосабливаться к жизни в неблагоприятных условиях (от мороза их спасают шерстный покров и подкожный жир, у пустынных животных есть приспособления для экономного расходования воды и охлаждения и т.д.). (Рис. 7).

Растения малоподвижны и ведут прикрепленный образ жизни. Поэтому у них возможны лишь два последних варианта адаптаций. Так, для растений характерно снижение интенсивности процессов жизнедеятельности в неблагоприятные периоды: они сбрасывают листья, зимуют в виде погребенных в почву покоящихся органов – луковиц, корневищ, клубней, сохраняются в состоянии семян и спор в почве. У моховидных способностью к анабиозу обладает все растение, которое в сухом состоянии может сохраняться несколько лет.

Устойчивость растений к неблагоприятным факторам повышается за счет специальных физиологических механизмов: изменение осмотического давления в клетках, регулирование интенсивности испарения с помощью устьиц, использование мембран-«фильтров» для избирательного поглощения веществ и др.

Адаптации у разных организмов вырабатываются с разной скоростью. Наиболее быстро они возникают у насекомых, которые за 10–20

поколений могут приспособиться к действию нового инсектицида, чем объясняются неудачи химического контроля плотности популяций насекомых-вредителей. Процесс выработки адаптаций у растений или птиц происходит медленно, в течение столетий.

Наблюдаемые изменения в поведении организмов обычно связаны со скрытыми признаками, которые были у них как бы «про запас», но под действием новых факторов проявились и повысили устойчивость видов. Такими скрытыми признаками объясняется устойчивость некоторых видов деревьев к действию промышленного загрязнения (тополь, лиственница, ива) и некоторых сорных видов к действию гербицидов.

В состав одной экологической группы часто входят организмы, которые не похожи друг на друга. Это связано с тем, что к одному и тому же фактору среды разные виды организмов могут адаптироваться по-разному.

Например, по-разному переживают холод *теплокровные* (их называют *эндотермными*, от греческих слов эндон – внутри и терме – тепло) и *холоднокровные* (*эктотермные*, от греческого эктос – снаружи) организмы. (Рис. 8.)

Температура тела эндотермных организмов не зависит от температуры окружающей среды и всегда более или менее постоянна, ее колебания не превышают 2–4° даже при самых сильных морозах и самой сильной жаре. Эти животные (птицы и млекопитающие) поддерживают температуру тела внутренним теплообразованием на основе интенсивного обмена веществ. Тепло своего тела они сохраняют за счет теплых «шуб» из перьев, шерсти и др.

Физиологические и морфологические адаптации дополняются приспособительным поведением (выбор защищенных от ветра мест для ночлега, строительство нор и гнезд, групповые ночевки у грызунов, тесные группы пингвинов, согревающих друг друга, и т.д.). Если температура окружающей среды очень высокая, то эндотермные организмы охлаждаются за счет специальных приспособлений, например испарением влаги с поверхности слизистых оболочек ротовой полости и верхних дыхательных путей. (По этой причине в жару у собаки учащается дыхание и она высовывает язык.)

Температура тела и подвижность эктотермных животных зависит от температуры окружающей среды. Насекомые и ящерицы при прохладной погоде становятся вялыми, малоподвижными. Многие виды животных при этом обладают способностью к выбору места с благоприятными условиями температуры, влажности и освещения солнечным светом (ящерицы греются на освещенных плитах горных пород).

Впрочем, абсолютная эктотермность наблюдается только у очень маленьких организмов. Большинство холоднокровных организмов все-таки способно к слабой регуляции температуры тела. Например у активно летающих насекомых – бабочек, шмелей температура тела поддерживается на уровне 36–40°C даже при температуре воздуха ниже 10°C.

Аналогично различаются по своему облику виды одной экологической группы у растений. Они также могут приспосабливаться к одним и тем же условиям среды разными способами. Так, разные виды ксерофитов по-разному экономят воду: у одних – имеются толстые оболочки клеток, у других – опушение или восковой налет на листьях. Некоторые ксерофиты (например, из семейства губоцветные) выделяют пары эфирных масел, которые окутывают их как «одеялом», что снижает испарение. Корневая система у одних ксерофитов мощная, уходит в почву на глубину нескольких метров и достигает уровня грунтовых вод (верблюжья колючка), у других – поверхностная, но сильно разветвленная, что позволяет собирать воду осадков.

Среди ксерофитов есть кустарники с очень небольшими жесткими листьями, которые могут сбрасываться в самое сухое время года (карагана кустарниковая в степи, пустынные кустарники), дерновинные злаки с узкими листьями (ковыли, типчак), *суккуленты* (от латинского *суккулентус* – сочный). Суккуленты имеют сочные листья или стебли в которых накапливается запас воды, и легко переносят высокие температуры воздуха. К суккулентам относятся американские кактусы и растущий в среднеазиатских пустынях саксаул. Они обладают особым типом фотосинтеза: устьица открываются ненадолго и только в ночное время, в эти прохладные часы растения запасают углекислый газ, а днем используют его для фотосинтеза при закрытых устьицах. (Рис. 9.)

Разнообразие приспособлений к переживанию неблагоприятных условий на засоленных почвах наблюдается и у галофитов. Среди них есть растения, которые способны накапливать соли в своем теле (солерос, шведка, сарсазан), выделять избыток солей на поверхность листьев специальными железками (кермек, тамариксы), «не пускать» соли в свои ткани за счет непроницаемого для солей «корневого барьера» (полыни). В последнем случае растениям приходится довольствоваться малым количеством воды и они имеют облик ксерофитов.

По этой причине не следует удивляться тому, что в одних и тех же условиях встречаются непохожие друг на друга растения и животные, которые приспособились к этим условиям разными способами.

Контрольные вопросы

1. Что такое адаптация?
2. За счет чего животные и растения могут приспосабливаться к неблагоприятным условиям среды?
2. Приведите примеры экологических групп растений и животных.
3. Расскажите о разных приспособлениях организмов к переживанию одних и тех же неблагоприятных условий среды.
4. В чем различие приспособлений к низким температурам у эндотермных и эктотермных животных?

§ 8. БИОЛОГИЧЕСКАЯ ИНДИКАЦИЯ

Живые организмы тесно связаны с условиями среды. И потому о состоянии окружающей среды и ее изменениях – загрязнении, повышении или уменьшении влажности почвы, ее засолении, изменении климата и т.д. часто можно судить по реакции отдельных организмов и их популяций или по видовому составу экосистем.

Оценка среды по состоянию организмов и видовому составу экосистем называется *биологической индикацией (биоиндикацией)*. Достоинство биологической индикации состоит в том, что организмы могут «рассказывать» не только о состоянии среды в данный момент, но и о ее изменении за длительное время. Например, если имел место «залповый» выброс большого количества загрязняющего вещества, то уже спустя несколько часов при наличии ветра он не будет зарегистрирован прибором, а растения «запомнят» этот выброс и «расскажут» о нем.

Кроме того, если предприятие выбрасывает в атмосферу или воду сразу десятки загрязняющих веществ, оценить их влияние на природу порознь часто невозможно. По реакции организмов на загрязнение можно оценить вредоносность всего «комплекта».

Существуют разные *биологические индикаторы (биоиндикаторы)*. О загрязнении окружающей среды можно судить по внешним признакам растений или животных. Благодаря «памяти» этих организмов, можно узнать и о тех факторах, которые в настоящее время уже не действуют. Например, появление черных пятен на листьях липы свидетельствует о том, что в зимнее время дворники чрезмерно увлекались посыпанием снега солью для ускорения его таяния, о выбросах сернистого газа «расскажут» пятна на листьях подорожника большого. О степени загрязнения воздуха можно судить и по состоянию хвои сосны (рис. 10). По ширине годичных колец сосен в окрестностях химического предприятия можно определить, в какие годы завод особенно сильно загрязнял атмосферу. В эти годы закладываются более тонкие кольца. Поскольку на ширину колец влияет также и количество осадков, при биоиндикации используется «контроль» – толщина колец в сходных условиях, но без загрязнения.

Можно достаточно точно определить, сколько солей содержится в почве, если в экосистеме появились растения-индикаторы почвенного засоления: подорожник солончаковатый, шведка, солерос, бодяк бесстебельный, ситник Жерарда и др. (Рис. 11.)

О действии некоторых факторов можно судить по особенностям формы листьев или по высоте растений. Например, тростник, если солей в воде немного, может достигать высоты 4 м, а если вода «пересолена», его побеги не превышают 0,5 м. Можно составить специальную шкалу, и по высоте тростника определять качество воды в водоеме.

Есть растения-индикаторы состояния почв на пашне. Если появились полевица побегообразующая и мята полевая, значит, на пашне застаивается вода; разрослись щавель малый и клевер пашенный – почва стала кислой, и ее

надо известковать; появились паслен черный и крапива жгучая – почву «перекормили» азотными удобрениями, и урожай может быть загрязнен нитратами.

По составу растений-сорняков можно оценить и интенсивность применения гербицидов. Например, преобладание среди сорных растений звездчатки средней и овсюга – свидетельство частого применения гербицидов, которых эти виды совсем не боятся. Появление василька синего говорит об обратном. Этот вид, погибает почти от всех гербицидов и при химизации растениеводства исчезает в первую очередь. Подобные оценки можно сделать и по составу беспозвоночных животных в пахотном слое почвы.

Присутствие в водоемах водокраса лягушечьего и тем более наяды, сальвинии (рис. 12) или водяного ореха – показатель высокого качества воды, а массовое развитие роголистника, рдеста плавающего и ряски – признак сильного загрязнения водоема.

Чуткие индикаторы загрязнения атмосферы – некоторые виды мхов и лишайников. Степень задымления городов можно определить по составу лишайников на стволах деревьев. Некоторые виды лишайников исчезают при самом слабом загрязнении атмосферы. Другие – выдерживают относительно высокие концентрации загрязняющих веществ. Лишайники накапливают загрязняющие химические и радиоактивные вещества. Химический анализ слоевищ лишайников позволяет точнее «засечь» появление загрязнения в атмосфере, чем при использовании приборов. (В частности, в Швеции появление радиоактивной пыли от Чернобыльской АЭС было установлено при анализе лишайников.)

Существуют и специальные живые приборы *бриометры* (от греческого слова бриос – мох) – маленькие коробочки с мхами определенных видов. Бриометры выставляются в разных местах города. За сутки мхи хорошо «запоминают» режим задымления атмосферы. Кроме мхов для этих целей используются и некоторые особо чувствительные растения, например, кресс-салат, который также чутко реагирует на состояние атмосферы.

Конечно, биоиндикация не заменяет химических анализов. Тем не менее, во многих случаях оценивать действие экологических факторов методами биоиндикации очень полезно. Для такой оценки не нужны дорогостоящие приборы, возможно осуществление оперативного наблюдения (мониторинга) за состоянием условий среды, особенно за режимом загрязнения атмосферы, воды и почвы. Эти методы могут использовать школьники.

Контрольные вопросы

1. Что такое биологическая индикация?
2. В чем ее достоинства и недостатки?
3. Какие признаки организмов и экосистем могут использоваться при биологической индикации?
4. Как используются в биологической индикации лишайники и мхи?

(ДОП.) § 9. ЖИЗНЕННЫЕ ФОРМЫ ОРГАНИЗМОВ

Жизненная форма – это внешний облик организма, комплекс морфологических, анатомических, физиологических и поведенческих признаков, в котором отражается его приспособленность к условиям внешней среды.

В сходных условиях среды организмы даже из систематически далеких групп могут иметь сходную жизненную форму. Так, например по форме тела похожи животные, обитающие в водной среде – млекопитающие, рыбы, птицы (дельфин, акула, пингвин, рис. 13), в воздушной среде – птицы, летучие мыши, насекомые. Аналогично сходную жизненную форму имеют почвенные землерои.

Эта закономерность еще более четко проявляется у растений. Так, растения-подушки (их сильно ветвящиеся короткие побеги так тесно сближены, что образуют плотные полушария, рис. 14) в холодных высокогорьях Памира, Тянь-Шаня, Алтая представляют разные семейства – розоцветные, бобовые, зонтичные и др.; сходную жизненную форму имеют американские кактусы и африканские молочаи.

На характере жизненных форм животных в первую очередь сказывается их перемещение в средах. Так, среди млекопитающих А.Н. Формозов выделил надземные формы, подземные (землерои), древесные, воздушные и водные, отметив, что между этими формами есть переходы.

Сходные жизненные формы животных встречаются в аналогичных условиях жизни на разных континентах. Так, жизненная форма прыгающих животных (прыгунчики, тушканчики, кенгуру) отличается компактным телом с удлиненными задними и укороченными передними конечностями. Длинный хвост, выполняя роль балансира, помогает резко изменять направление движения.

Жизненные формы животных зависят также от климата. Млекопитающие, живущие в холодном климате, в отличие от родственных видов из теплых краев, имеют более крупные размеры и короткие выступающие части тела (хвост, уши, конечности), что позволяет им снизить потери тепла.

У тех животных, развитие которых происходит с метаморфозом, жизненная форма закономерно изменяется в течение жизни: гусеница и бабочка (у насекомых), головастик и лягушка (у земноводных). Меняется жизненная форма и у растений с автономным гаметофитом-заростком (папоротники, плауны, хвощи).

Наиболее общепринятую классификацию жизненных форм растений в начале нашего столетия предложил датский эколог К. Раункиер (рис. 15). Она основана на положении относительно поверхности почвы и способе защиты почек возобновления. В этой классификации все растения разделяются на следующие типы жизненных форм:

– *фанерофиты*, почки возобновления находятся высоко над поверхностью почвы (деревья и кустарники);

- *хамефиты*, почки возобновления находятся над поверхностью почвы на высоте 20-30 см (кустарнички);
- *гемикриптофиты*, почки возобновления находятся на уровне поверхности почвы (большинство луговых и степных трав);
- *криптофиты*, разделяются на *геофиты*, почки возобновления у которых расположены в почве (зимующие в стадии корневищ или луковиц) и *гидрофиты* (водные растения с почками возобновления в воде);
- *терофиты* – однолетники, зимующие в стадии семян.

Контрольные вопросы

1. Что такое жизненная форма?
2. По каким признакам различаются жизненные формы растений в классификации Раункиера?
3. Приведите пример морфологического сходства видов из далеких систематических групп.

(ДОП.) § 10. ЖИЗНЕННЫЕ СТРАТЕГИИ ОРГАНИЗМОВ

Разные виды растений и животных отличаются по способам выживания – *жизненной стратегии*.

Л.Г. Раменский разделил организмы на три группы, которые назвал *виолентами* (силовиками), *патиентами* (выносливцами), *эксплерентами* (заполнителями) и дал им еще дополнительные, образные названия «львов», «верблюдов» и «шакалов».

«*Львы*» – это сильные организмы, которые обитают в благоприятных условиях и могут, как говорится, постоять за себя. Примеры «льва», кроме самого льва – тигр, слон, дуб. Дуб растет на почвах, богатых элементами питания, в теплом климате, при достаточном количестве осадков. Если человек не вмешивается в жизнь леса, то дуб образует чистые умеренно густые древостой из крупных деревьев-великанов. «*Львы*» захватывают все условия, в которых могут жить.

«*Верблюды*» – это организмы, обитающие в условиях с бедными ресурсами и благодаря специальным приспособлениям переносящие трудности. Пример этой стратегии – ксерофиты и галофиты. Верблюд, в честь которого названа группа, может неделями обходиться без воды и питаться «колючками». Растения пустынь экономно расходуют воду. «*Верблюды*» обитают и на солончаках, и в тенистых горных ущельях, и на побережье Северного Ледовитого океана.

«*Шакалы*» – это организмы, которые, как и «львы», предпочитают изобилие ресурсов, но, в отличие от них, заселяют нарушенные местообитания (распаханная почва, территория строительства, пожарище, откос дороги и др.). Они очень плодовиты и массово размножаются там, где нет «львов». Растения этой группы чаще всего однолетники с большим числом семян (одна особь может давать их десятки и сотни тысяч). К «шакалам» относятся сорные и культурные растения полей. «*Шакалы*» среди животных – домовая мышь,

таракан, мухи, личинки которых могут за короткое время «переработать» тушу овцы или даже коровы.

Типичные «львы», «верблюды» и «шакалы» встречаются довольно редко. Чаще организмы имеют жизненную стратегию переходного типа. Например, ольха серая – между «львом» и «шакалом». У луговых трав – овсяницы луговой, ежи сборной, кровохлебки лекарственной и др. – сочетаются признаки всех трех стратегий: они могут постоять за свое «место под солнцем», переносить неблагоприятные условия (скажем, переживать засуху в состоянии временного покоя) и восстанавливаться после нарушений за счет отрастания от корневищ, почек у поверхности почвы, семенного размножения.

На рис. 16 показано отношение организмов основных типов жизненных стратегий (и переходов между ними) к уровню благоприятности условий среды и нарушений. В благоприятных и стабильных условиях распространены «львы», в благоприятных и нестабильных – «шакалы», а в неблагоприятных и стабильных условиях – «верблюды». В неблагоприятных и нестабильных условиях организмы погибают. Вот почему нужно быть особенно осторожными при использовании экосистем у границ жизни – в условиях крайней сухости и крайнего холода.

Многие организмы в разных условиях ведут себя по-разному. Тростник может быть «львом» в низовьях Волги и Дона (образует высокие, до 4 м плавни) и «верблюдом» – на солончаках. В этих условиях тростник – низкое стелющееся растение с узкими листьями. Но если взять семена такого «верблюжьего» тростника и высеять их в благоприятных условиях, снова появится «лев». На сфагновом болоте вырастают «верблюжьи» сосенки, которые в возрасте сто лет имеют длину стелющегося стволика меньше 1 м. В степной зоне у южной границы распространения дуб и осину можно встретить в «верблюжьей» кустарниковой форме.

Когда японцы создают карликовые деревья (это искусство называется «бонсай»), то превращают деревья из «львов» в «верблюды» (рис. 17).

Организмы разных типов жизненных стратегий обычно обитают в одной экосистеме, дополняя друг друга. Так, вместе со «львом» – дубом обитают «верблюды» – теневыносливые травы копытень и вороний глаз. Однако существуют и чисто «верблюжьи» экосистемы – пустыни (там и растения, и животные приспособлены к крайне сложным условиям жизни), и исключительно «шакалы» – заросли однолетников на пустыре). Сосуществование организмов с разными жизненными стратегиями помогает им более полно использовать ресурсы и жизненное пространство.

Контрольные вопросы

1. Охарактеризуйте основные жизненные стратегии организмов – «львов», верблюдов» и «шакалов».
2. Существуют ли переходные типы жизненных стратегий?

3. Приведите примеры изменения жизненной стратегии одного вида в разных условиях.

4. Какой тип жизненной стратегии у культурных растений?

(ДОП.) § 11. БИОЛОГИЧЕСКОЕ РАЗНООБРАЗИЕ

Условия среды на нашей планете разнообразны. За счет того, что разные организмы приспосабливались к этим условиям по-разному, в процессе эволюции сформировалось *биологическое разнообразие* (*биоразнообразие*) – совокупность видов всех организмов. «Бухгалтерия» этого разнообразия следующая.

Общее число известных науке видов сегодня составляет около 2,5 млн., причем, почти 1,5 млн. из них – насекомые, еще 300 тысяч – цветковые растения. Всех других животных примерно столько же, сколько цветковых растений. Водорослей известно немногим более 30 тысяч, грибов – около 70 тысяч, бактерий – менее 6 тысяч, вирусов – около тысячи. Млекопитающих – не более 4 тысяч, рыб – 40 тысяч, птиц – ?? (Рис. 18.)

Около 80% биоразнообразия составляют виды суши (наземно-воздушной и почвенной сред жизни) и лишь 20% – виды водной среды жизни, что вполне понятно: разнообразие условий среды в водоемах ниже, чем на суше. 74% биологического разнообразия связано с тропическим поясом, 24 – с умеренными широтами и лишь 2% – с полярными районами.

По размеру самой многочисленной группой являются организмы величиной около 1 см. (Рис. 19.) Убывание числа видов с уменьшением размера тела связано с тем, что, с одной стороны, эта «мелюзга» (особенно грибы) недостаточно изучена, с другой – с тем, что она обитает в ограниченном разнообразии условий среды (в воде, в качестве паразитов других организмов, в почве).

«Разнообразие порождает разнообразие»: чем больше видов растений обитает в том или ином районе, тем больше там видов-гетеротрофов, которые связаны с этими растениями в процессе питания. Число гетеротрофных спутников у разных видов растений составляет от 30 до 600.

Биоразнообразие конкретного участка территории зависит от множества причин, причем самой главной являются условия среды. Чем благоприятнее условия среды, тем больше там обитает видов растений и, соответственно, видов гетеротрофных организмов. В то же время, есть множество других факторов, которые повышают и понижают биоразнообразие. Если, к примеру, в состав сообщества растений входит вид-«лев» (виолент), то число других видов растений будет ограничено и, соответственно, уменьшится число видов животных, грибов, бактерий, которые населяют этот участок.

При умеренном нарушении – легкий выпас на лугу или в степи, периодические «верховые» (не затрагивающие древостоя) пожары в лесу,

слабое влияние отдыхающих на пригородный лес – биоразнообразие растёт, а при сильном нарушении (верховой пожар, сильный выпас) – падает.

Повышается биоразнообразие вследствие переменности условий среды. Так, высокое биоразнообразие луговых степей связано с чередованием периодов достаточного и недостаточного увлажнения. Виды, адаптированные к недостаточному увлажнению, получают преимущества в сухое время года, а адаптированные к достаточному увлажнению – во влажное. Но те и другие сосуществуют вместе, и биоразнообразие оказывается высоким: на 1 м² только растений встречается до 100 видов.

На сегодняшний день биоразнообразие планеты выявлено далеко не полностью. По прогнозам ученых, общее число видов организмов, живущих на Земле, составляет не менее 5 млн. (а по некоторым прогнозам – 15 и даже 30 млн.). Неизвестные виды – это в основном обитатели тропиков из числа мелких насекомых и грибов.

Биоразнообразие планеты является ее важнейшим *невосполнимым ресурсом*, который необходимо охранять.

Контрольные вопросы

1. Сколько видов живых организмов известно ученым и каков прогноз числа видов при их полном выявлении?
2. Какие группы организмов представлены самым большим числом видов?
3. От каких факторов зависит число видов на конкретном участке?
4. Организмы какого размера наиболее массово представлены в биоразнообразии планеты?
5. Каково соотношение числа видов в разных жизненных средах?

Справочный материал

В фауне России беспозвоночных – 150 тыс. видов, млекопитающих – 245, птиц – 732, рептилий – 75, амфибий – 27 видов.

Биоразнообразие – важный биологический индикатор состояния окружающей среды, который чутко реагирует на характер воздействия человека. В настоящее время четко проявляется тенденция снижения биоразнообразия. С 1600 г. исчезло 63 вида млекопитающих и 74 вида птиц. В числе исчезнувших видов – тур (рис. 20), тарпан, зебра-квагга, сумчатый волк, морская корова Стеллера, европейский ибис и др. В современном мире ежедневно исчезает от 1 до 10 видов животных и еженедельно – 1 вид растений.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Организм и среда его обитания составляют единство. Если разорвать это единство и лишить организм возможности использовать факторы среды и выделять в нее продукты своей жизнедеятельности, он

погибнет. Факторы среды разделяются на потребляемые организмами факторы-ресурсы (вода, углекислый газ, минеральные соли и свет – для растений; вода и организмы-ресурсы – для хищников) и факторы-условия, которые организмами не потребляются. Факторы-условия не менее важны для организмов, чем факторы-ресурсы. Так, например, без благоприятных климатических условий организмы существовать не могут. Важными факторами жизни организмов являются биотические – результат их влияния друг на друга.

В отношении к каждому фактору среды для каждого вида есть зона процветания (оптимума), зоны угнетения и значения, за границами которых вид не может существовать. При этом отношение любого вида к факторам среды индивидуально.

Отношение видов к факторам среды формируется в результате длительного процесса приспособления (адаптации). Поэтому, зная, как вид приспособлен к тому или иному фактору, по его присутствию или состоянию (а для животных – и по поведению) можно оценить условия среды. Такая оценка условий среды называется биологической индикацией, а организм – биологическим индикатором.

Виды со сходным отношением к условиям среды объединяются в экологические группы. При этом, поскольку к одним и тем же условиям организмы могут приспосабливаться по-разному, в одной экологической группе могут быть виды не похожие друг на друга. Виды, имеющие внешнее сходство, в котором отражается их отношение к условиям среды, относятся к одной жизненной форме. По сходству реагирования видов на уровень благоприятности условий среды и степень ее стабильности (наличию или отсутствию нарушений, их частоте) выделяются типы жизненных стратегий организмов.

Разнообразие условий среды и разнообразие приспособлений видов к этим условиям сформировали высокое биологическое разнообразие. Число известных видов на нашей планете приближается к 2 млн., а прогнозируемое – к 5–30 млн.

Знания о приспособлениях организмов к условиям среды помогают понять, почему в разных условиях обитают разные виды. Такие знания важны не только для понимания закономерностей природы, но и для того, чтобы разводить организмы разных видов в искусственных условиях – на полях, в лесополосах, ботанических садах, зоопарках.

Индивидуальное задание

Темы:

1. Экологическое разнообразие видов района.

Задача исследования – показать разнообразие адаптаций организмов разных видов к условиям среды. Районом исследования может быть лесопарк, территория конкретной фермы или коллективного хозяйства, небольшой город или один район большого города. Для наблюдения можно выбрать одну

или несколько групп организмов: птицы, млекопитающие, рыбы, растения, только деревья, только травы и т.д. В результате работы должен быть написан научный отчет.

2. Организмы – биологические индикаторы.

Задача исследования – показать возможности оценки состояния среды методом биологической индикации. В качестве индикаторов могут быть использованы лишайники, деревья, сорные растения на поле. Объектом исследования нужно выбрать территорию, разные участки которой испытывают разное по интенсивности влияние хозяйственной деятельности человека. В результате работы должен быть написан научный отчет.

Подбор литературы для выполнения исследований достаточно сложен, так как популярных книг по этим темам нет, и нужно использовать статьи. Их поиск можно начать с журнала «Биология в школе», в котором последние 5 лет было много публикаций по данным проблемам. В каждой статье есть список изданий, где можно почерпнуть дополнительную информацию. Используйте местные издания по флоре и фауне. Методы биоиндикации описаны в книге С.В. Алексеева с соавторами «Практикум по экологии: Учебное пособие» (М.: АО МДС, 1996).

Глава 3. ПОПУЛЯЦИЯ

Основной единицей инвентаризации биологического разнообразия является вид. Однако виды, как правило, распространены на очень больших территориях, которые различаются по экологическим условиям. Наша обычная сосна лесная, к примеру, произрастает на всем Евразийском материке – от Великобритании до Сахалина. По этой причине экологи считают своим главным объектом изучения не вид, а популяцию.

§ 12. РАЗНООБРАЗИЕ ПОПУЛЯЦИЙ

Популяция – это совокупность особей одного вида в пределах ограниченной территории, причем количество особей в этой совокупности достаточно для того, чтобы популяция могла воспроизводить себя.

Популяции очень разнообразны. Популяции разных видов в зависимости от размера особей и длительности их жизни существуют в разном *биологическом пространстве* и в разном *биологическом времени*. Например, два фитофага – тля и слон – занимают несопоставимые по площади пространства и длительность их жизни также несопоставима.

Для того, чтобы изучить популяцию тли, достаточно исследовать состояние ее особей на площади в несколько квадратных сантиметров; для оценки популяций одноклеточных водорослей или простейших животных зоопланктона достаточно взять пробу объемом несколько литров воды. Но для того, чтобы изучить популяцию слона или кита, необходимо провести учеты на площади в десятки квадратных километров.

Аналогично для того, чтобы изучить как популяция изменяется во времени, наблюдения за короткоживущими и долгоживущими видами также будут проводиться в разном временном масштабе. Для мелких насекомых и планктонных водорослей достаточно оценить изменение их популяций в течение одного лета, а для того, чтобы установить закономерности популяций лосей нужно вести наблюдения десятки лет.

Таким образом, благодаря различию биологического времени и биологического пространства у разных видов их популяции изучаются на разных площадях учета и с разной продолжительностью времени наблюдений.

Контрольные вопросы

1. Что такое популяция?
2. Почему популяции разных видов изучаются в разных биологическом пространстве и биологическом времени?

§ 13. СТРУКТУРА ПОПУЛЯЦИИ

Популяция меньше всего похожа на комплект игрушечных пластмассовых солдатиков, каждый из которых – точная копия остальных. Особи, составляющие популяцию, отличаются друг от друга, причем, чем больше разнообразие особей, тем полнее используются ресурсы среды и устойчивее популяция.

В состав популяции могут входить несколько *экотипов* – генетически различающихся экологических вариантов вида. Экоотипы отличаются по требованиям к условиям среды и ритмике развития (у растений – по времени зацветания, устойчивости к морозу и засухе и т.д.). Например, у саранчи есть стадные и одиночные формы. Под влиянием сильно действующих внешних факторов часть экотипов может погибнуть, и структура популяции станет беднее. Так, у многих видов сорных растений и насекомых-вредителей в популяциях сохранились только те экоотипы, которые устойчивы к пестицидам. Также отбираются экоотипы насекомых, которые устойчивы к промышленному загрязнению.

Особи популяции различаются по *жизненности* (степени процветания). Это наиболее наглядно в популяциях животных, где отмечаются более сильные особи, которые являются «главенствующими» – вожаками стай и других семейных групп. Впрочем, в любой популяции растений также есть более крупные и более мелкие особи одного возраста.

Наконец, особи популяции имеют разный пол (кроме однодомных растений и животных-гермафродитов) и разный возраст. Соотношение особей разного возраста называется *возрастной структурой* популяции. В большинстве популяций представлены молодые, половозрелые и стареющие особи. Таковы популяции большинства многолетних растений и многих животных. Возрастная структура популяций человека различается в разных странах. В населении бедных странах, вследствие высоких рождаемости и

смертности, мала доля старых людей, в процветающих странах с низкими рождаемостью и смертностью более или менее равномерно представлены все возрастные группы населения.

Есть популяции, состоящие из особей одного возраста, например, популяции однолетних растений, одновременно развивающихся из семян; популяции саранчи, которые весной состоят из личинок, ранним летом – из неполовозрелых бескрылых особей, затем – крылатых форм, а в конце осени – только из яиц. Такие популяции менее устойчивы, чем популяции со сложной возрастной структурой.

В практике сельского хозяйства создание внутривидовой популяционной разнообразия культурных растений и пород домашних животных позволяет без дополнительных затрат получать более высокие урожаи культурных растений и привесы скота. На полях высеваются смеси сортов, урожайность которых более устойчиво сохраняется в годы с разными погодными условиями (например, смесь сортов более устойчивых и менее устойчивых к засухе). Пастбища эффективнее используются (равномернее выедаются разные виды трав) стадом, если оно состоит из животных разного возраста.

Популяции различаются и по *размещению особей в пространстве*. В одних популяциях особи размещены более или менее равномерно, в других – группами. Пример равномерного распределения особей – популяции многих видов птиц в лесу. У каждой особи (или семейной пары) – своя территория, которую она охраняет.

Групповое распределение характерно для популяций многих видов животных, ведущих стадный образ жизни. Пятнами растут многие виды растений, например клевер на лугу.

Контрольные вопросы

1. За счет чего складывается внутривидовое разнообразие?
2. Что дает популяции разнообразие составляющих ее особей?
3. Как используется свойство внутривидовой популяционной разнообразия в сельском хозяйстве?
4. Какие варианты размещения особей популяций в пространстве вы знаете?

§ 14. ЧИСЛЕННОСТЬ И ПЛОТНОСТЬ ПОПУЛЯЦИИ

Общее число особей в популяции, называется ее *численностью*. Абсолютную численность популяции можно определить только для самых крупных животных или редких видов растений, число которых ограничено. В других случаях численность популяции вычисляют путем умножения занимаемой ею площади на *плотность популяции* – число ее особей на единице площади.

В зависимости от размера особей и биологического пространства плотность популяции может быть измерена в разном масштабе: 1 мм² (микроорганизмы), 1 м² (почвенные беспозвоночные), 1 км² (мелкие грызуны)

и даже 100 км² (крупные хищники). Плотность популяции мхов можно определить на площади 25 см², травянистых растений – 100 м², деревьев – 200 м².

Плотность популяции отражает соотношение ее *биотического потенциала* (способности к размножению и выживанию взрослых особей), определяемого жизненной стратегией, и *сопротивления среды* – ограниченного количества ресурсов, влияния неблагоприятных абиотических условий и биотических факторов (рис. 21).

У неподвижных организмов (растения, прикрепленные моллюски) плотность популяции регулируется соотношением скорости рождения и смерти особей. По мере взросления слабые особи погибают и размер популяции приходит в соответствие с количеством ресурсов. Наглядный пример – самоизреживание деревьев в лесу. Часто этому процессу содействуют лесники, вырубаящие слабый подрост деревьев и тем самым ускоряющие формирование древостоя из крупных сильных деревьев.

У некоторых видов растений при ухудшении жизненных условий уменьшается не плотность популяции, а размер особей. Этот способ регулирования плотности представлен у растений-«шакалов» (эксплерентов). Чем выше плотность популяции, тем мельче растения (рис. 22). Так, в разных по плотности популяциях мари белой по размеру растения могут различаться в 20 тысяч раз.

У подвижных организмов, (большинство животных) она регулируется также за счет перемещения особей – их вселения в популяцию (или ту ее часть, где выполнен учет) и выселения из нее. Таким образом, у подвижных организмов возможностей для регулирования плотности популяции всегда больше, чем у неподвижных.

Имеется множество примеров, показывающих как повышение плотности популяции оказывает влияние на рождаемость, выживание молодых особей и сокращение длительности жизни взрослых организмов. Так, у вредителя таежных лесов сибирского шелкопряда при высокой плотности популяции происходит снижение плодовитости самок с 300 до 100 яиц, и в 2,5 раза снижается выживаемость личинок.

У африканских слонов при плотности 2–3 животных на 250 га интервал между родами составляет 3 года, и молодые животные достигают взрослого состояния, когда могут «завести семью», к 12 годам. При повышении плотности до 6–7 голов на ту же площадь, слонихи дают потомство лишь один раз в 5–6 лет, а молодые слоны «вступают в брак» только в 18 лет.

В некоторых популяциях при повышении плотности возрастает доля мужских особей. В других популяциях происходит увеличение доли экотипов, которые медленно размножаются или склонны к миграции.

Примером такой изменчивости популяции является наличие двух экотипов у большинства видов саранчи (рис. 23). Формы одиночной и стадной саранчи настолько резко различаются, что раньше их относили даже к разным видам. Стадная саранча отличается от одиночной не только внешним видом,

но и поведением – высокой двигательной активностью, склонностью собираться в стаи и редкой прожорливостью. Летящие по ветру гигантские стаи могут переноситься на тысячи километров.

Появление стадной формы саранчи происходит в годы с плохим развитием травостоя при засухе. Таким образом, именно неблагоприятные климатические условия подталкивают саранчу к опустошительным миграциям. (В южных районах России саранча нанесла ущерб посевам в засушливых 1998-1999 гг.)

Поскольку факторы среды, как биотические, так и абиотические, изменчивы, изменчива и плотность (а также численность) популяции. При улучшении условий численность популяции увеличивается, при ухудшении – уменьшается. В итоге численность популяции постоянно колеблется.

Контрольные вопросы

1. В каких случаях можно определить численность популяции прямым пересчетом особей, а в каких ее определяют по плотности?
2. На какой площади учитывают плотность популяций разных видов.
3. Расскажите о факторах, влияющих на плотность популяции.

Справочный материал

У культурных растений смешанный тип регулирования плотности популяций: при загущении посевов происходит и уменьшение размера особей, и самоизреживание. Плотность посева формируются с таким расчетом, чтобы в нем поддерживался режим конкуренции, благоприятный для культурных растений и неблагоприятный – для сорняков. Это не распространяется на пропашные культуры с широкими междурядьями, в которых плотность популяций сорных растений регулируется агротехническими или химическими методами.

Зависимость урожайности и плотности популяции культурного растения имеет параболический характер: при увеличении плотности урожайность вначале увеличивается, затем выходит на "плато" и при сильном загущении начинает снижаться (рис. 24). Для подавления сорных растений выбирают плотность посева несколько выше, чем это целесообразно при полном отсутствии засоренности (например, при интенсивной химической прополке).

§ 15. ВЗАИМООТНОШЕНИЯ ОРГАНИЗМОВ ВНУТРИ ПОПУЛЯЦИИ

Особи одной популяции связаны сложными взаимоотношениями, которые могут включать как *конкуренцию* – соревнование за потребление ресурсов, которых недостаточно, так и *взаимопомощь*.

Конкуренция является главной формой взаимоотношений внутри популяции, если число особей в ней больше, чем позволяют существовать ресурсы. Чем значительно больше число особей превышает количество

необходимых им ресурсов, тем острее конкуренция. В результате конкуренции часть более слабых особей либо погибает, либо (если это подвижные организмы) перебирается в другие экотопы, где конкуренции нет или она более слабая.

Результаты конкуренции наглядны в лесу, так как определяют облик деревьев. Особенно остро она протекает в период роста молодых деревьев, когда выживают сильные и погибают слабые. Конкуренция оставляет отпечаток и на взрослых деревьях. Среди них есть более мощные, которые захватили больше ресурсов, и менее мощные, угнетенные. Лесоводы даже разделяют деревья по классам угнетенности. Выросшее на открытом месте дерево – приземистое, с широкой кроной. Дерево, которое выросло в лесу в условиях конкуренции, имеет высокий, прямой ствол и узкую крону (рис. 25).

Если в лесу не проводятся санитарные рубки и нет выпадения деревьев естественным путем (от старости, болезней, ветровала), то древесные всходы, достигнув возраста трех-четырёх лет, гибнут, и древостой не пополняется за счет новых молодых деревьев.

Однако в популяции могут складываться и взаимовыгодные (или выгодные хотя бы для части особей, но не наносящие вреда другим) отношения.

Взаимовыгодные отношения особей в популяциях животных общеизвестны (забота родителей о потомстве, формирование больших семейных групп, стадный образ жизни, коллективная оборона от врагов и т.д.). Однако, если ресурсов недостаточно, эффекты благоприятствования могут сменяться острой конкуренцией.

Не меньшую роль играют отношения взаимопомощи у растений. Лучше развиваются растения, высеянные группой, так как у них легче формируется симбиоз с микоризными грибами и бактериями ризосферы. Известны случаи срастания корней у деревьев, при этом часть питательных веществ переходит от более сильного растения к более слабому. Возможна передача питательных веществ от одного растения к другому через микоризу.

Совместно произрастающие растения лучше опыляются насекомыми, так как повышается вероятность переноса пыльцы с цветков одного растения на другое, и, кроме того, яркое цветковое пятно из нескольких цветущих и выделяющих ароматические вещества растений привлекает насекомых.

Контрольные вопросы

1. Что такое конкуренция?
2. В каких случаях возникает конкуренция?
3. Как проявляется конкуренция в лесу?
4. Могут ли организмы уходить от конкуренции?
5. Приведите примеры взаимопомощи у животных и растений.

Справочный материал

Известны факты взаимопомощи растений при «коллективной обороне» от фитофагов, проявляющих чрезмерно высокую активность и способных серьезно повредить растениям. В этом случае в растениях, после начала активного поедания их фитофагами, повышается концентрация горьких веществ, снижающих поедаемость. При этом подвергшиеся нападению фитофагов особи выделяют в атмосферу сигнальные вещества, которые способны вызывать повышенное образование горьких веществ у тех особей, которые еще не повреждены. Однако насколько широко распространен этот вариант взаимоотношений растений пока не ясно.

ДОП. § 16. КРИВЫЕ ВЫЖИВАНИЯ И МОДЕЛИ РОСТА ПОПУЛЯЦИЙ

Процессы динамики популяций часто описываются математически. Так, изменения в популяции, связанные с поддержанием определенного возрастного состава, отражаются *кривыми выживания*.

На рис. 26 показано три кривых выживания. Первый тип (А) характерен для популяций с преобладанием взрослых особей, которые подолгу живут. Такова кривая выживания населения развитых стран, где средняя продолжительность жизни достигает 70-80 лет, ограничена детская смертность и невысока рождаемость.

Вторая кривая (точнее, прямая, Б) характеризует ситуацию с равномерной смертностью на протяжении всей «биографии» организмов. Обычно причиной смерти бывает влияние хищников и паразитов. Эта закономерность проявляется в популяциях птиц и рыб.

Третья кривая (В) характеризует ситуацию, когда самая высокая смертность наблюдается в раннем возрасте, а по мере взросления особей шанс выжить повышается, и смертность снижается. Этот тип динамики свойствен популяциям деревьев в лесу: у них бывает обильное возобновление, но идет интенсивный процесс *самоизреживания*, и число взрослых особей оказывается небольшим.

Эти же закономерности могут быть отражены *пирамидами возрастного состава* популяции (рис. 27). Высота пирамиды отражает длительность жизни особей, а ширина – число особей в возрастном классе. Масштаб деления на возрастные классы зависит от биологического времени: для долгоживущих организмов он может составлять 5-10 лет, для короткоживущих – несколько дней. Для популяций с разными кривыми выживания пирамиды напоминают, соответственно ракету, муравейник и перевернутую воронку.

Кроме кривых выживания, в экологии используются так называемые *модели роста популяции* для ситуации, когда формируется новая популяция или в результате улучшения обеспечения ресурсами происходит рост исходно небольшой по численности популяции (рис. 28).

Первая модель описывается *J-образной кривой*: в условиях неограниченного количества ресурсов скорость роста популяции увеличивается чрезвычайно быстро. Примером такого роста популяции

является увеличение численности северного оленя при интродукции его на различные острова. Так, от 25 особей (4 самца и 21 самка), завезенных в 1911 г. на остров Святого Павла (Берингово море), к 1938 г. сформировалась популяция из 2000 оленей. Однако затем последовал спад численности, и к 1950 г. сохранилось всего 8 особей.

В озерах умеренных широт весной после таяния льда в приповерхностном слое воды содержится много биогенных элементов. По этой причине после прогревания воды здесь наблюдается быстрый рост численности диатомовых и зеленых водорослей. Однако он также быстро прекращается, когда эти ресурсы будут израсходованы и, кроме того, зоопланктон начнет активно выедать водоросли.

Таким образом, в природе рост популяций в соответствии с J-образной кривой возможен лишь в сравнительно кратковременный период ее жизни при особо благоприятных условиях. Во всех других случаях реализация этой модели невозможна.

Вторая модель описывается *S-образной кривой*: вначале скорость роста популяции бывает медленной, затем возрастает и вновь начинает снижаться. Причины замедления роста численности популяции могут быть самыми различными: выедание ресурсов, влияние эффекта скученности (у грызунов при этом снижается интенсивность репродуктивного процесса), отравление местообитания прижизненными выделениями, выедание популяции хищниками и др.

Однако после того, как скорость роста популяции угаснет, ее размер редко остается постоянным и, как правило, колеблется под влиянием различных причин.

Контрольные вопросы

1. К какому типу кривых выживания можно отнести динамику роста народонаселения экономически отсталых стран тропического пояса и развитых стран?
2. Почему в природе ограничены возможности реализации J-образной кривой роста численности популяций?
3. Объясните, какие факторы обуславливают динамику популяций в соответствии с S-образной кривой.

Справочный материал

Ч. Дарвин рассчитал потенциальные возможности роста популяций разных организмов при реализации J-образной кривой. Так, по его оценкам, число потомков одной пары слонов (животных, размножающихся чрезвычайно медленно) через 750 лет достигнет 19 млн. Если же обратиться к организмам, живущим не так долго и размножающимся более быстро, то цифры будут еще более впечатляющими. Так, у бактерий, которые делятся каждые 20 минут, из одной бактериальной клетки через 36 часов может

образоваться биомасса, достаточная, чтобы покрыть весь земной шар слоем толщиной 30 см, а еще через 2 часа – слоем в 2 м.

§ 17. ПРИЧИНЫ, НАРУШАЮЩИЕ СТАБИЛЬНОСТЬ ПОПУЛЯЦИЙ

Человек может вызвать резкое снижение плотности некоторых популяций или даже их исчезновение. Основные причины, способные повредить популяции, следующие.

Чрезмерная добыча. Каждая популяция в естественных экосистемах находится под контролем «сверху» и «снизу». «Снизу» ее контролирует количество ресурсов, а «сверху» – организмы, которые используют эту популяцию как ресурс. Любая популяция имеет «запас прочности», т.е. может сохраняться при некотором изменении влияния контролирующих факторов (как «сверху», так и «снизу»). Если определенную часть популяции изымает человек, то она компенсирует потери за счет более интенсивного размножения. Так человек влияет на популяции зайцев, белок, соболей, лосей, уток, промысловых рыб, лекарственных и декоративных растений.

Часть популяции, которую человек может изъять без риска ее разрушения, называется *максимально допустимой долей изъятия урожая* (или сокращено *МДУ* – максимально допустимый урожай). С учетом МДУ планируется отстрел животных, лов рыбы, заготовка лекарственных растений. Например, без ущерба для популяции кабанов и северных оленей можно ежегодно отстреливать 30% животных, а в популяциях лосей – только 15%. Однако часто человек превышает эту норму и пытается получить от популяций «сверхприбыль». Например, к числу лосей или кабанов, отстрел которых запланирован с учетом возможностей размножения животных, добавляется браконьерская добыча. Это может ослабить популяцию.

Часто нарушаются нормы заготовки лекарственного сырья (не говоря уже о нарушениях правил сбора, когда растения не срезаются, а вырываются с корнем). В результате ресурсные растения становятся редкими. Сегодня в некоторых районах России истощены ресурсы адониса весеннего, валерианы лекарственной и других лекарственных растений. В ряде водоемов наблюдается перелов рыбы.

Разрушение местообитаний. Это вторая по значимости причина снижения плотности популяций. Выпас уплотняет почву и обедняет видовой состав лугов и степей. В европейской части России популяции ковылей, таких, как ковыль красивейший, ковыль Лессинга и даже самый обычный ковыль перистый, стали редкими в составе степных травостоев. Многие популяции насекомых исчезли вследствие распашки степей и освоения целины. Разрушают местообитания популяций туристы и отдыхающие в пригородной зоне горожане. Водные местообитания разрушает быстроходный транспорт. Волнобой, возникающий при его проходе, губит молодь рыбы. Гибнет рыба и от столкновения с моторными лодками.

Для сохранения популяций необходимо сохранить хотя бы часть местообитаний, где они могут нормально размножаться и восстанавливать плотность. Например, для поддержания популяций тетеревов в лесах вокруг мест, где птицы собираются на весенний ток, создаются защитные зоны, в которые человеку нет доступа. На многих реках запрещено использование моторных лодок. Создана сеть заказников, где отстрел дичи не проводится до тех пор, пока промысловые животные не восстановят численность своих популяций.

Вселение новых видов. Человек проводит преднамеренное вселение (*интродукцию*) видов в различные районы планеты. Многие виды попадают в новые для них районы «самостоятельно» как заносные. Пришельцы могут вытеснять местные виды, разрушая их популяции (например, американская норка вытесняет европейскую). Нередко вселенные виды оказываются в более выгодном положении, чем местные, так как в новых местообитаниях у них меньше конкурентов, паразитов или хищников. В таком выгодном положении оказался колорадский жук, занесенный в Европу, где у него практически нет врагов.

Исключение видов, необходимых для контроля популяций. Не меньший ущерб популяции может нанести исключение вида, регулирующего ее плотность. Так, например, в 20-х годах нашего столетия в США на плато Кебаб, чтобы защитить оленей, был организован массовый отстрел волков. Вскоре олени так размножились, что вытоптали свои пастбища, начали голодать и болеть. В результате поголовье оленей не увеличилось, а уменьшилось.

Волки обычно бродят вокруг стада оленей или сайгаков и нападают лишь на ослабевших от болезни или старости животных. Таким образом, хищники не только регулируют численность растительноядных животных, но и выступают в роли санитаров, выбраковывая больных и способствуя сохранению здоровья популяции.

Загрязнение среды. Популяции многих видов растений и животных снижают свою плотность и даже исчезают под влиянием загрязнения. Особенно страдают от загрязнения популяции водоемов, в которые попадают смытые с полей удобрения и пестициды, а также промышленные стоки. Первыми разрушаются популяции рыб в результате прямого отравления или гибели кормовых объектов. В реках исчезают стерлядь, хариус и другие виды. В озерах стали редкими такие растения, как папоротник сальвиния плавающая.

Контрольные вопросы

1. Перечислите причины, которые снижают стабильность популяции.
2. В чем вред получения «сверхприбыли» от популяции?
3. Приведите примеры исчезновения популяций из-за разрушения их местообитаний.
4. Как влияет вселение новых видов на популяции местных видов?

5. Как сказывается на состоянии популяции исчезновение вида, контролирующего ее плотность?

5. Приведите примеры разрушения популяций растений или животных в результате промышленного или сельскохозяйственного загрязнения.

Справочный материал

Сохранение популяций промысловых животных. В 1998 г. в лесах России было (в тыс. голов) лосей – 631,3, диких северных оленей – 1248, благородных оленей – 165,6, медведей – 122,9, кабанов – 175,4, волков – 44,8, бобров – 252,7, зайцев-беяков – 4882,5, русаков – 284,4, лисиц – 513,6, соболей – 1057,2. Поголовье амурского тигра (занесенного в Красную книгу) оценивается в 200–250 особей.

Калмыкия – уникальное место обитания диких антилоп-сайгаков. Сайгаки менее пагубно, чем домашний скот, влияют на травостой пастбищ, а себестоимость их диетического мяса в 7 раз ниже, чем баранины, и в 15 – говядины. Ценны их шкуры, а рога – уникальное лекарственное сырье. Однако в настоящее время площадь пастбищ сайгаков сократилась в 4 раза, и соответственно в 4 раза (с 600 до 150 тыс. голов) сократилась численность этих животных. Причина – вытеснение их домашним скотом и разрушение пастбищ под влиянием его избыточного поголовья. Восстановление популяций сайгака – важная экологическая и экономическая задача Калмыкии.

Осетровые рыбы (стерлядь, севрюга, осетр, белуга) живут в морях, но для нереста поднимаются в реки. До строительства каскада водохранилищ на Волге каспийские осетровые поднимались в Оку, Клязьму, Каму, Белую и другие реки системы Волги. Теперь естественных нерестилищ для осетровых нет, и численность осетрового стада поддерживается только за счет искусственного рыборазведения. На состоянии поголовья осетровых отрицательно сказывается загрязнение воды в Волге. Болеет до 70% осетров, в тканях рыбы на каждый килограмм веса содержится от 1 до 5 мг тяжелых металлов, что небезопасно для тех, кто ест этот деликатесный продукт. Спасти осетровое стадо может только снижение концентрации токсичных примесей в волжской воде.

Река Урал дает одну треть мирового улова осетровых рыб. В отличие от Волги эта река не перегорожена плотинами и не столь загрязнена стоками, но на осетровом стаде отрицательно сказываются уменьшение водности реки из-за массового водозабора на орошение и смыв в реку огромного количества мелкозема с полей водосбора. В результате скорость течения снижается, дно, на котором раньше была галька, нужная для нереста осетровых (они трутся о гальку брюшком), заиливается. Если водозабор не будет снижен и не уменьшится эрозия почв в водосборе, то улов уральских стерлядей и севрюги станет еще меньше.

Популяции ценных промысловых рыб России поддерживаются благодаря работе рыбоводных предприятий, которых в стране в 1998 году было 121. Предприятия выпустили в водоемы 5907,807 млн. штук молоди, в том числе осетровых – 95,953 и лососевых – 624,669. Почти все поголовье осетровых Каспийского бассейна берет свое начало на рыбоводных предприятиях.

Значительная часть диких уток гибнет от того, что заглатывает свинцовую дробь, которая ядовита. В охотничьих заказниках ее количество может достигать 2 млн. дробинок на 1 га. В Дании свинцовая дробь запрещена, и охотники используют дробь из стали. В Англии для спасения лебедей, живущих на реке Темзе, запрещено использовать свинцовые грузила для рыбной ловли.

Для борьбы с мухой цеце пойменные леса в одной из африканских стран были обработаны инсектицидом в количестве 1 г/га. Цеце осталась, но исчезло 11 из 55 видов пресноводных рыб.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Любой вид существует в форме множества популяций – совокупностей особей на конкретных участках. Популяции очень разнообразны: в зависимости от размера особей, продолжительности их жизни они существуют в разных биологическом пространстве и биологическом времени. Площадь, занимаемая популяциями «лилипутов», таких как тля, измеряется в сантиметрах, а популяциями «великанов» кита или слона – в десятках километров. Время жизни одного поколения популяций «лилипутов» составляет дни и недели (у микроорганизмов – минуты и часы), а «великанов» – десятилетия. «Великаны» растительного мира живут тысячелетия.

Особи, составляющие популяцию, разнообразны. Они отличаются по возрасту, жизненности, представляют разные генетические варианты вида – экотипы. Разнообразие особей внутри популяции повышает ее устойчивость к колебаниям условий среды, например, к особенностям климата в разные годы.

Внутри популяции организмы связаны взаимоотношениями – конкурентными (соревнованием за потребление ресурсов, которых недостаточно) и взаимопомощи. Конкуренция при этом всегда играет более важную роль.

Размер популяции определяется ее численностью, о которой часто судят по плотности популяции – числу особей на единице площади. Плотность популяции зависит от многих причин, главная из которых – обеспечение ресурсами, однако влияние этого внешнего фактора опосредствуется через биологические закономерности жизни популяции – рождаемость, смертность, и длительность жизни особей, их выселение или вселение.

Человек часто настолько изменяет условия среды, что популяции гибнут. Поэтому для сохранения популяций нужно знать о тех условиях среды, которые необходимы для поддержания конкретных популяций разных видов и не разрушать их.

Индивидуальное задание

Тема: «Сравнение двух популяций».

Задача исследования – выявить, как условия среды влияют на характеристики популяций. Это экспериментальная работа, которую можно выполнить на самых разных объектах, представляющих популяции одного вида в разных экологических условиях. Однако с учетом того, что времени у исследователя–школьника немного, проще взять две популяции растений – травянистых или древесных. Оценивать особи травянистых растений можно по массе или числу побегов. Во втором случае растения при учете не повреждаются. Деревья оцениваются по толщине ствола с помощью специальной вилки, которой измеряют диаметр. Следует охарактеризовать не менее 25 растений из каждой популяции. Можно изучать популяции культурных растений, причем и тех, которые растут на индивидуальных садовых участках.

Перед выполнением экспериментальной части исследования нужно изучить литературу о популяциях. Материал можно найти в двухтомнике М. Бигона с соавторами. Постарайтесь найти в библиотеке книгу А.М. Гилярова «Популяционная экология» (М.: издательство МГУ, 1990).

Глава 4. ЭКОСИСТЕМА

Организмы объединяются в популяции, а популяции – в экосистемы – совокупности нескольких (часто многих) видов, которые обитают совместно и взаимодействуют друг с другом и с окружающей абиотической средой. Экосистемы являются основными энергетическими «установками», которые усваивают солнечную энергию, дающую жизнь. «Экосистема» – важнейшее понятие экологии. Ей посвящено 6 глав учебника. Знакомство с экосистемой начнем с ее общей характеристики и рассмотрим основные группы организмов, которые выполняют в ней разную «работу».

§ 18. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ЭКОСИСТЕМЫ

Термин «экосистема» предложил английский эколог А. Тенсли в 1935 году. Экосистема – это любая совокупность взаимодействующих живых организмов и условий среды.

Экосистемами являются, например, муравейник, участок леса, территория фермы, кабина космического корабля, географический ландшафт или даже весь земной шар. Экологи используют также термин «биогеоценоз», предложенный русским ученым В.Н. Сукачевым. Этим термином

обозначается совокупность растений, животных, микроорганизмов, почвы и атмосферы на однородном участке суши. Биogeоценоз – это один из вариантов экосистемы.

Между экосистемами, как и между биogeоценозами, обычно нет четких границ, и одна экосистема постепенно переходит в другую. Большие экосистемы состоят из экосистем меньшего размера.

На рис. 29 показана «матрешка» экосистем. Чем меньше размер экосистемы, тем теснее взаимодействуют входящие в ее состав организмы. В муравейнике живет организованный коллектив муравьев, в котором все обязанности распределены. Есть муравьи-охотники, охранники, строители. Кроме муравьев в экосистему муравейника входят различные бактерии, которые разрушают экскременты насекомых, а также грибы.

Экосистема муравейника входит в состав лесного биogeоценоза, а лесной биogeоценоз – часть географического ландшафта. Состав лесной экосистемы более сложный, в лесу совместно проживают представители многих видов растений, животных, грибов, бактерий. Связи между ними не столь тесны, как в экосистеме муравейника. Многие животные проводят в лесной экосистеме только часть времени.

Внутри ландшафта разные биogeоценозы связаны надземным и подземным движением воды, в которой растворены минеральные вещества. Наиболее интенсивно перемещается вода с минеральными веществами в пределах водосборного бассейна – водоема (озера, реки) и примыкающих к нему склонов, с которых в этот водоем стекают надземные и подземные воды. В экосистему водосборного бассейна входят несколько разных экосистем – лес, луг, участки пашни. Организмы всех этих экосистем могут не иметь прямых взаимоотношений и связаны через подземные и надземные потоки воды, которые перемещаются к водоему.

В пределах ландшафта переносятся семена растений, перемещаются животные. Нора лисы или логово волка находятся в одном биogeоценозе, а охотятся эти хищники на большой территории, состоящей из нескольких биogeоценозов.

Ландшафты объединяются в физико-географические районы (например, Русская равнина, Западно-Сибирская низменность), где разные биogeоценозы связаны общим климатом, геологическим строением территории и возможностью расселения животных и растений. Связи между организмами, включая человека, в экосистемах масштаба физико-географического района и биосферы осуществляются через изменение газового состава атмосферы и химического состава водоемов.

Наконец, все экосистемы земного шара связаны через атмосферу и Мировой океан, в который поступают продукты жизнедеятельности организмов, и составляют единое целое – *биосферу*.

Контрольные вопросы

1. Что такое экосистема?
2. Как вы понимаете выражение «матрешка экосистем»?

3. Как изменяется теснота связи видов, входящих в экосистему, с увеличением ее размера?

§ 19. СОСТАВ ЭКОСИСТЕМЫ

В состав экосистемы входят живые организмы (их совокупность называется *биоценозом*, или *биотой*, экосистемы), факторы неживой природы (абиотические) – атмосфера, вода, питательные элементы, свет и мертвое органическое вещество – *детрит*.

Все живые организмы по способу питания (по функциональной роли) разделяются на две группы – *автотрофов* (от греческих слов ауто – сам и трофо – питание) и *гетеротрофов* (от греческого слова гетерос – другой).

Автотрофы. Эти организмы для синтеза органического вещества используют неорганический углерод, это – *продуценты* экосистемы. По используемому источнику энергии они, в свою очередь, также делятся на две группы.

Фотоавтотрофы используют свет. Это зеленые растения, цианобактерии, а также многие окрашенные бактерии, имеющие хлорофилл (и другие пигменты) и усваивающие солнечную энергию. Процесс, при котором происходит ее усвоение, называется *фотосинтезом*.

Хемоавтотрофы используют химическую энергию окисления неорганических веществ (серы, сероводорода, аммиака, железа и др.). Это серобактерии, водородобактерии, железобактерии, нитрифицирующие бактерии и др. Хемоавтотрофы играют главную роль в экосистемах подземных вод, а также в особых экосистемах рифтовых зон дна океана, где из разломов плит выделяется сероводород, который окисляют серобактерии. В наземных экосистемах существенную роль играют нитрифицирующие бактерии.

Гетеротрофы. Эти организмы питаются готовыми органическими веществами, которые синтезированы продуцентами, и вместе с этими веществами получают энергию. Гетеротрофы в экосистеме являются *консументами* (от латинского слова консумо – потребляю), потребляющими органическое вещество, и *редуцентами*, разлагающими его до простых соединений. Существует несколько групп консументов.

Фитофаги (растительноядные). К ним относятся животные, которые питаются живыми растениями. Среди фитофагов есть и небольшие организмы, такие, как тля или кузнечик, и гиганты, такие, как слон. Фитофагами являются почти все сельскохозяйственные животные: корова, лошадь, овца, кролик. Главные фитофаги в водных экосистемах – это микроскопические организмы растительноядного планктона, питающиеся водорослями. Есть в этих экосистемах и крупные фитофаги, например, рыба белый амур, поедающий растения, которыми зарастают оросительные каналы. Важный фитофаг – бобр. Он питается ветками деревьев, а из стволов сооружает плотины, регулирующие водный режим территории.

Зоофаги (хищники, плотоядные). Зоофаги очень разнообразны. Это и мелкие животные, питающиеся амебами, червями или рачками. И крупные, такие, как волк. Хищники, питающиеся более мелкими хищниками, называются хищниками второго порядка. В водных экосистемах широко распространены зоофаги-*фильтраторы*, в составе этой группы – и микроскопические рачки и кит. Фильтраторы играют огромную роль в самоочищении загрязненных вод (рис. 30). Только планктонные морские веслоногие раки из рода каланус за несколько лет способны профильтровать воды всего Мирового океана!

Есть растения-хищники (росянка, пузырчатка), которые используют в пищу насекомых. Правда, их способ питания отличается от хищников-животных. Они «ловят» мелких насекомых, но не заглатывают их, а «переваривают», выделяя ферменты на свою поверхность. Есть хищники и среди почвенных грибов, которые «ловят» микроскопических круглых червей-нематод.

Паразиты. Это разные животные (черви, насекомые, клещи), грибы, бактерии, вирусы, реже растения (заразиха, повилика и др.), которые питаются органическим веществом другого живого существа – хозяина. Хозяином может быть растение или животное (включая человека). Паразит не убивает хозяина, как хищник жертву, а поселяется на нем (или внутри него) и долго использует его для питания. Паразиты могут снижать продолжительность жизни хозяина, его упитанность и плодовитость.

Паразиты очень разнообразны. Наряду с настоящими паразитами, которые питаются только за счет хозяина или нескольких хозяев (многие паразиты в течение жизни сменяют двух или трех хозяев), широко распространены *паразитоиды*, которые часть своей жизни проводят как фитофаги. Среди паразитоидов много насекомых, полезных для человека: на стадии личинки они паразитируют во вредителях сельскохозяйственных растений.

Существуют *суперпаразиты* – паразиты паразитов.

Симбиотрофы. Это бактерии и грибы, которые питаются корневыми выделениями растений. Симбиотрофы очень важны для жизни экосистемы. Нити грибов, опутывающие корни растений, помогают всасыванию воды и минеральных веществ. Бактерии-симбиотрофы усваивают газообразный азот из атмосферы и связывают его в доступные растениям соединения (аммиак, нитраты). Этот азот называется биологическим (в отличие от азота минеральных удобрений).

К симбиотрофам относятся и микроорганизмы (бактерии, одноклеточные животные), которые обитают в пищеварительном тракте животных-фитофагов и помогают им переваривать пищу. Такие животные, как корова, без помощи симбиотрофов не способны переварить поедаемую траву.

Детритофаги – организмы, питающиеся мертвым органическим веществом. Это многоножки, дождевые черви, жуки-навозники, раки, крабы, шакалы и многие другие. Значительное разнообразие видов-детритофагов

связано с почвой. Многочисленны детритофаги, разрушающие древесину (рис. 31).

Организмы, которые питаются экскрементами, называются *копрофагами*. Некоторые организмы используют в пищу как растения, так и животных и даже детрит и относятся к *эврифагам* (всеядным) – медведь, лиса, свинья, крыса, курица, ворона, тараканы. Эврифагом является и человек.

Редуценты – организмы, которые по своему положению в экосистеме близки к детритофагам, так как они тоже питаются мертвым органическим веществом. Однако редуценты – бактерии и грибы – разрушают органические вещества до минеральных соединений, которые возвращаются в почвенный раствор и снова используются растениями.

Для переработки мертвого органического вещества редуцентам нужно время. Поэтому в экосистеме всегда есть запас этого вещества – детрит. Детрит – это опад листьев на поверхности лесной почвы (сохраняется 2–3 года), ствол упавшего дерева (сохраняется 5–10 лет), гумус почвы (сохраняется сотни лет), отложения органического вещества на дне озера – сапрпель и торф на болоте (сохраняется тысячи лет). Наиболее долго сохраняющимся детритом являются каменный уголь и нефть.

Продуценты, фитофаги, хищники связаны в процессе «работы» экосистемы, то есть усвоении и расходовании энергии при производстве органического вещества и как бы участвуют в «эстафете» передачи энергии. Номер участника «эстафеты» – это его *трофический уровень*. Первый трофический уровень – продуценты, второй – фитофаги, третий – хищники первого порядка, четвертый – хищники второго порядка. В некоторых экосистемах, например в озере, количество трофических уровней может достигать 5-6.

На рис. 32 показана структура экосистемы, основу которой составляют растения – фотоавтотрофы, а в табл. 1 приведены примеры представителей разных трофических групп для некоторых экосистем.

Таблица 1

Представители разных трофических групп в некоторых экосистемах

Трофическая группа	Экосистема		
	Лес	Водоем	Сельскохозяйственные угодья
Продуценты	Ель, береза, сосна	Водоросли, рдест, кувшинка, ряска	Пшеница, рожь, картофель, осот
Консументы-фитофаги	Лось, заяц, белка, непарный шелкопряд, тля	Дафния, ондатра, толстолобик	Человек, корова, овца, мышь, полевка,

			долгоносик, тля
Консументы- зоофаги	Волк, лисица, хорь, дятел, муравьи	Рачки- циклопы, чайка, окунь, язь, щука, сом	Человек, скворец, божья коровка
Консументы- детритофаги	Жук-мертвоед, кивсяк, дождевой червь	Перловица, мотыль, дафния	Личинки жуков и мух дождевой червь

Контрольные вопросы

1. В каких экосистемах важную роль играют хемоавтотрофы?
2. Перечислите основные группы консументов и приведите их примеры.
3. Чем отличаются паразиты от хищников?
4. Чем отличаются детритофаги от редуцентов?
5. Какую роль в экосистемах играют копрофаги?
6. В чем отличие бактерий-симбиотрофов от бактерий-редуцентов?

§ 20. ПОЧВА

Экосистемы состоят из живых организмов и среды обитания, которая дает им ресурсы – энергию, воду, питательные вещества. Однако есть в экосистеме один элемент, который нельзя отнести ни к собственно живым ее компонентам, ни к мертвым условиям среды. Это *почва* – верхний слой суши, преобразованный деятельностью живых организмов. Толщина почвы в разных районах Земли составляет от нескольких сантиметров до 2 м.

Главное вещество почвы – это *гумус*, который по своей природе является детритом, т.е. временно исключенным из «производственного процесса» экосистемы органическим веществом.

Гумус – «дитя» солнца, которое производит его, используя в качестве «инструмента» живые организмы (растения, животных, микроорганизмы), из данного Земли материала – верхнего слоя земной коры, воды и атмосферы. (рис. 33).

Химический состав гумуса очень сложен, он состоит из фенолов и органических кислот темной окраски и образуется в результате процесса разложения (*гумификации*) органических веществ корневых остатков растений и почвенных животных. На долю гумуса приходится до 98% всего органического вещества почвы (остальное – живые корни, почвенные животные и неразложившиеся мертвые остатки организмов).

Одновременно с процессом гумификации органического вещества происходит процесс *дегумификации* – минерализации гумуса. Под действием микроорганизмов входящие в его состав сложные органические соединения разрушаются до форм, доступных растениям. В естественных (или в

сельскохозяйственных, но правильно используемых) почвах между процессами гумификации и минерализации существует равновесие, т.е. гумуса образуется столько, сколько его разрушается. При пахотном использовании почв процессы минерализации идут активнее, чем накопление гумуса, и потому, если не вносить дополнительно органические вещества (например, навоз), то количество гумуса будет уменьшаться – произойдет дегумификация почв.

У разных почв – разные свойства. Они содержат разный запас питательных веществ, имеют разную реакцию почвенного раствора (могут быть кислыми, нормальными и щелочными), разные физические свойства (могут быть более рыхлыми и более плотными), разный режим увлажнения (т.е. количество влаги, которое в разные сезоны года содержится в разных слоях почвы). На рис. 34 показаны факторы формирования почв.

В почвах буквально кишит жизнь, хотя она и не столь заметна, как буйное цветение степных трав, шелест листвы лесов, пение птиц. Жизнь в почве тихая: корни растений, опутанные грибами, поглощают влагу и растворенные в ней питательные вещества, бактерии-азотфиксаторы усваивают атмосферный азот, огромнейшая армия почвенных животных кормится за счет живых и особенно мертвых корней и ест друг друга, микроорганизмы разлагают органическую массу до простых органических и минеральных соединений и возвращают их в почвенный раствор. (Рис. 35).

Именно в почве сосредоточена основная биомасса животных (95–99%). При этом почвенная животная биомасса формируется не за счет крупных организмов, которые живут в норах (кроты, суслики, полевки, мыши), а в основном за счет различных червей, насекомых, клещей и других низших животных из числа детритофагов. На 1 м² почвы в лесах умеренной зоны России можно обнаружить около 1000 видов животных, при этом численность нематод и простейших может превышать 10 млн., ногохвосток и почвенных клещей – 100 тыс., других беспозвоночных – 50 тыс.

Естественный процесс почвообразования нарушается, если на почвы влияет человек.

Контрольные вопросы

1. Какова роль гумуса в почве?
2. Какие последствия вызывает пахотное использование почв?
3. Как богат мир почвенных обитателей? Какова их роль в экосистеме?

ДОП. § 21. РАЗНООБРАЗИЕ ПОЧВ

Как уже говорилось, почвы являются важнейшей частью любых наземных экосистем – естественных и сельскохозяйственных. Почвы не менее разнообразны, чем биологические (живые) компоненты экосистем. (Рис. 36).

В разных условиях в зависимости от климата, режима увлажнения и исходного материала, то есть материнской породы, формируются разные почвы. Самые плодородные почвы – *черноземы*, они формировались под степной растительностью, которая очень продуктивна и имеет глубокую корневую систему. Осадков при этом достаточно, чтобы обеспечить высокий урожай степных растений, но недостаточно, чтобы вымывать накапливаемые почвой органические и минеральные соединения в глубь почвенной толщи. Поэтому, если выкопать яму и посмотреть, как выглядит черноземная почва, то можно увидеть, что черный от накопленного гумуса слой, лишь слегка светлея, идет на глубину до 1 м (бывает и более). В южной части степной зоны, где выпадает меньше 300 мм осадков, черноземы переходят в *каштановые* почвы, почвы полупустынь содержат еще меньше гумуса и называются *бурыми*. Наконец, почвы пустынь – это *сероземы*, в которых содержание гумуса меньше 0,5%.

В зоне тайги, где осадков выпадает больше и формируются хвойные леса из ели, почва другая. Органического вещества в ельнике накапливается меньше, чем в степи, а опадающие с деревьев хвоинки, перегнивая, выделяют органические кислоты, которые растворяются в обильных дождевых и снеговых водах. Подкисленные воды просачиваются внутрь почвы, увлекая за собой и органическое вещество, и некоторые минеральные элементы. Этот процесс называется *выщелачиванием*. Поэтому, если у черноземов сверху расположен толстый темноокрашенный слой гумуса, то у почв еловых лесов под тонким слоем гумуса расположен белесый промытый слой. Он напоминает печную золу и называется подзолистым, а сами почвы – *подзолистыми*, или подзолами.

Под широколиственными лесами образуются почвы, которые занимают переходное положение между подзолами и черноземами и называются *серыми лесными*. По сходству с подзолами и черноземами их разделяют на светло-серые, серые и темно-серые лесные. В светло-серых почвах выщелачивание идет активнее, чем в темно-серых, и потому они более похожи на подзолы. Темно-серые почвы, наоборот, похожи на черноземы, среди которых также есть варианты, где слегка выражен процесс выщелачивания (оподзоленные черноземы, выщелоченные черноземы).

Почвы субтропических районов называются *красноземами*, тропических – *латеритными*. Для таких почв характерен ускоренный круговорот органического вещества, которое быстро минерализуется до соединений, доступных растениям. Запасы плодородия (гумуса) в них невелики.

Особые почвы формируются в речных поймах, которые регулярно заливаются паводковыми водами весной или в начале лета. Они различаются в зависимости от того, на какой срок заливаются почвы (это, в свою очередь, зависит от высоты участка над среднелетним уровнем воды, который называется меженью) и с какой скоростью протекают через участок паводковые воды (близ русла скорость выше, в отдалении от него она резко уменьшается).

Близ речного русла, где затопление длительное и отлагаются обильные наилки легкого механического состава (т.е. содержащие много песчаных частиц), почвы не имеют выраженного гумусового горизонта. Для них характерна особая слоистая структура, напоминающая торт «наполеон»: чередуются тонкие прослойки песка и суглинка.

В отдалении от русла у почв развивается гумусовый горизонт, и они приобретают характер зональных почв: в лесной зоне – подзолистых или серых, в степной – черноземов. В поймах всегда много почв *лугового* и *лугово-болотного* типов, которые формируются в условиях обильного увлажнения за счет близкого к поверхности расположения грунтовых вод. Эти почвы имеют мощные гумусовые горизонты с высоким содержанием в них гумуса.

Болотные почвы распространены не только в поймах. Их можно встретить в разных зонах в низких элементах рельефа. Они представляют переход к торфяникам, в которых образуется не гумус, а торф, состоящий из слабо перегнивших растительных остатков.

В горах характер почвы зависит от высотного пояса, однако подзолообразовательный процесс не выражен даже в поясе хвойных лесов, так как почвы надолго промерзают. Для *горных почв* характерен тонкий гумусовый горизонт и наличие в их составе щебня.

В степных районах России есть особые почвы, которые насыщены солями: хлоридами, сульфатами, содой. Насыщенные солями по всей толще почвы называют *солончаковыми*, а если солей очень много, то *солончаками*. Если засоленный слой расположен на некоторой глубине от поверхности (это может быть и 5–10 и 30–50 см), почвы называются *солонцами*.

Засоление почв может быть *первичным*, т.е. связанным с природными процессами, и *вторичным*, если его вызывает человек неумелым природопользованием. Вторичное засоление, вызванное подъемом к поверхности грунтовых вод из засоленных горизонтов, нанесло большой вред почвам южной части степной зоны России, где широко применяли орошение.

Плодородие почв из-за засоления резко снижается и, как правило, их приходится забрасывать. Многие тысячи гектаров вторично засоленных почв появились в степном Заволжье, в низовьях рек Дон и Кубань. Чтобы избежать засоления, необходимо снижать нормы полива и использовать экологически безопасные приемы улучшения водного снабжения растений – капельный и внутрпочвенный поливы. При таком орошении вода поступает непосредственно к корням растений, уменьшается ее испарение с поверхности почвы и, соответственно, накопление солей в ее верхнем слое.

Главным показателем плодородия почв является запас гумуса (рис. 37).

Контрольные вопросы

1. Какие основные типы почв сменяются на территории России от зоны тайги до полупустынь?
2. В чем особенности пойменных почв?

3. Что является причиной вторичного засоления почв?

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Понятие «экосистема» очень широкое, про него экологи говорят: от «кочки» до оболочки (то есть биосферы, заключающей всю жизнь на земле). Экосистема подобна большому предприятию по производству органического вещества, которое состоит из трех основных «цехов»: продуцентов – организмов, производящих органические вещества из минеральных, консументов – организмов, перерабатывающих эти вещества, и редуцентов – организмов, разрушающих мертвые тела и таким образом возвращающих элементы, которые входили в их состав, в окружающую среду для повторного использования продуцентами.

Продуценты разделяются на фотоавтотрофов (зеленые растения и цианобактерии, которые для синтеза органических веществ используют энергию солнечного света) и хемоавтотрофов (бактерий, для которых источником энергии служат химические реакции окисления неорганических веществ).

Консументы – это очень разнообразная группа организмов, в состав которой входят животные-фитофаги (растительноядные), животные-зоофаги (плотоядные, или хищники), паразиты (питающиеся за счет организмов-хозяев), детритофаги (питающиеся мертвым органическим веществом) и симбиотрофы.

Симбиотрофы – это бактерии и грибы, которые, как и паразиты, питаются за счет других организмов, но «честно» расплачиваются за полученные органические вещества «услугами» тому организму, который дает им пищу. Это бактерии, фиксирующие азот, микоризные грибы, бактерии и простейшие, живущие в пищеварительной системе животных.

Редуценты – это сапротрофные бактерии и грибы.

Особым блоком наземных экосистем является почва – трехфазная среда жизни, которая имеет разнообразное население из животных, грибов, бактерий и водорослей. Из почвы потребляют элементы питания и воду корни растений. В почве расположены основные «производственные мощности цеха» редуцентов и запас детрита, в составе которого – гумус и перегнившие в разной степени корни растений. В экосистемах разных природных зон – разные почвы.

Индивидуальное задание

Темы:

1. Функциональная роль птиц в экосистемах.

Задача исследования – охарактеризовать типы питания разных видов птиц и обобщить данные о видовом составе птиц-фитофагов и зоофагов. Тема может быть выполнена как реферативная или с

использованием наблюдений в природе о составе птиц определенного района. Обратите внимание на различия питания птиц в разные сезоны года.

В качестве литературных источников используйте книги по орнитологии, в которых описана фауна птиц вашего района.

2. Почвы (района).

Задача исследования – дать характеристику наиболее распространенных типов почв в конкретном районе, связав их с экологическими условиями почвообразования (положение в рельефе, характер экосистемы – лесная или травяная и т.д.).

Тема может быть выполнена как реферативная или с использованием наблюдений в природе. При реферативном варианте в качестве района исследования может быть принята область (или республика), при использовании наблюдений в природе территория должна быть значительно меньше, например – в границах сельскохозяйственного предприятия.

Литература о почвах района есть в местных библиотеках. В хозяйствах, кроме того, есть почвенные карты с пояснительным текстом.

ГЛАВА 5. ВЗАИМООТНОШЕНИЯ ОРГАНИЗМОВ В ЭКОСИСТЕМЕ

В определении экологии, данным Э. Геккелем, подчеркивается, что эта наука изучает отношения организмов с факторами неорганической природы, а также с «друзьями и врагами», которые способствуют их существованию» или вредят им.

Рассмотрим роль «друзей» и «врагов» в жизни организмов, то есть биотические факторы среды. При этом будем помнить, что понятия «друзья» и «враги» в природе относительны, так как, все организмы в естественных экосистемах «дружат» друг с другом.

Взаимоотношения организмов одного трофического уровня называются *горизонтальными*, а разных – *вертикальными*. Кроме материальных, существуют *сигнальные* (информационные) взаимоотношения организмов. Классификация типов взаимоотношений организмов показана на рис. 38).

Рассмотрим эти взаимоотношения.

§ 22. ГОРИЗОНТАЛЬНЫЕ ВЗАИМООТНОШЕНИЯ ОРГАНИЗМОВ

Основной тип взаимоотношений между организмами одного трофического уровня – *конкуренция*, то есть соревнование за потребление тех ресурсов, количество которых ограничено.

Так, на хорошо увлажненных и богатых элементами минерального питания почвах формируется густой травостой луговых трав, которые конкурируют за свет, но ксерофиты в пустыне растут редко и конкурируют не

за свет, а за воду. Животные-хищники (волк, орел, щука) конкурируют за животных, которые служат им пищей.

В процессе конкуренции более слабая особь может погибнуть (это чаще случается у растений) или найти свободное место и таким образом уступить место более сильному. Например, птицы после появления более сильного конкурента подбирают охотничьи угодья в участках леса, еще не занятых конкурентами. Конкуренция между видами в экосистеме (*межвидовая конкуренция*) принципиально не отличается от конкуренции между особями в популяции (*внутривидовой конкуренции*).

Наряду с конкуренцией между организмами одного трофического уровня возможны отношения *взаимопомощи* и *помощи «в одностороннем порядке»*.

Взаимоотношения типа «помощи в одностороннем порядке» (*комменсализм*) проявляются у растений-«нянь» и их «подопечных». Береза или ольха могут быть «няней» для ели: «няня» защищает всходы ели от прямых солнечных лучей, на открытом месте елочки вырасти не смогут. В таких же отношениях состоят кустарники из семейств губоцветных и сложноцветных с южноамериканскими кактусами. Кактусы для снижения дневного испарения воды осуществляют фотосинтез при закрытых устьицах и потому не «потеют». Взрослые кактусы имеют большую фитомассу и им перегрев не страшен, а молодые могут развиваться только в тени засухоустойчивых кустарников.

Помогают друг другу виды из семейств бобовых и злаков: бобовые за счет связи с симбиотическими азотфиксирующими бактериями обеспечивают злаки азотом, а вертикально ориентированные листья злаков, «пронзающие» густой травостой, смягчают конкуренцию бобовых за свет.

Однако при достижении растениями определенного возраста отношения растений-«нянь» и их «подопечных» сменяются конкуренцией: растения-«няни» угнетаются «неблагодарными подопечными» (ель, после того, как достигнет определенной высоты, заглушает ольху или березу). Конкурируют за воду и свет злаки и бобовые.

Контрольные вопросы

1. Какой тип взаимоотношений между организмами одного трофического уровня является основным?
2. Приведите примеры благоприятного влияния друг на друга организмов разных видов одного трофического уровня.

§ 23. ВЕРТИКАЛЬНЫЕ ВЗАИМООТНОШЕНИЯ ОРГАНИЗМОВ

Вертикальные взаимоотношения организмов более разнообразны, чем горизонтальные. Самые важные из них – взаимоотношения «растение – фитофаг», «жертва – хищник», «хозяин – паразит» и мутуализм. Если при первых трех типах взаимоотношений передача вещества и энергии

заключается в использовании одного организма другим как ресурса, то при мутуализме происходит взаимовыгодное сотрудничество.

Взаимоотношения «растение – фитофаг»

Взаимоотношения «растение – фитофаг» – основной тип вертикальных взаимоотношений организмов, при котором вещество и энергия, накопленные продуцентами, передаются консументам.

В естественных экосистемах растения и поедающие их фитофаги приспособляются друг к другу таким образом, чтобы животные не могли быстро съесть все растения и остаться без пищи. Для замедления поедания животными у растений вырабатываются специальные адаптации (рис. 39). Они защищаются:

- вырабатывая горькие вещества, ухудшающие их вкус;
- выделяя резкие запахи, отпугивающие фитофагов;
- образуя колючки и низкие формы с прижатыми к земле листьями, малодоступными для пасущихся животных.

Однако растения защищаются от фитофагов весьма умеренно и лишь настолько, чтобы их съели не слишком быстро (но все-таки съели!). Полная защищенность растений от поедания может нанести вред не только фитофагам, но и самим растениям:

- если растения не будут съедены, то содержащиеся в них питательные вещества не возвратятся в почву, и это осложнит условия для роста других растений;

– «лишние» листья многих видов трав и кустарников делают крону чрезмерно густой, что ухудшает условия фотосинтеза. У затененных листьев дыхание и расходование органического вещества протекает интенсивнее, чем фотосинтез. В результате они «паразитируют» за счет хорошо освещенных листьев, у которых накопление органического вещества происходит активнее, чем его расходование.

Взаимоотношения «растение – фитофаг» подчиняются правилу: чем растение быстрее растет (и соответственно, чем лучше условия для его роста), тем оно более поедается, и наоборот, чем растение медленнее растет, тем его поедаемость ниже. По этой причине почти все пустынные растения горькие и потому плохо поедаются, а луговые травы, которые легко отрастают, поедаются хорошо.

Однако, несмотря на эти защитные приспособления растений, при периодических всплесках плотности популяций фитофагов возможно чрезмерное выедание популяций растений. Результатом такого чрезмерного выедания растений становится подрыв кормовой базы фитофагов и снижение плотности их популяций.

Устойчивость взаимоотношений «растение – фитофаг» повышается в случае, если появляется третий участник процесса передачи вещества и энергии – зоофаг, который контролирует плотность фитофага. По этой причине волки являются важным фактором поддержания равновесия между растительностью и оленями в тундре.

Взаимоотношения «жертва – хищник»

Взаимоотношения «жертва – хищник» – следующий этап «эстафеты» передачи вещества и энергии – от фитофагов к зоофагам или от хищников низшего порядка к хищникам высшего порядка.

Равновесие между хищниками и их жертвами у животных также поддерживается специальными механизмами, исключающими полное истребление жертв. Так, жертвы могут:

- убегать от хищника (в этом случае в результате соревнования повышается подвижность и жертв, и хищников, что особенно характерно для степных животных, которым негде прятаться от преследователей);

- приобретать защитную окраску («притворяться» листьями или сучками) или, напротив, яркий (например красный) цвет, предупреждающий хищника о горьком вкусе;

- распространяться группами, что делает их поиск и промысел для хищника более энергозатратным;

- прятаться в укрытия;

- активно обороняться (рогатые травоядные, колючие рыбы), часто совместно (птицы-жертвы коллективно отгоняют коршуна, самцы оленей и сайгаков занимают «круговую оборону» от волков и т.д.).

В свою очередь, хищники не только развивают качества, помогающие настигать жертву (скорость передвижения, остроту зрения и обоняния), но и надевают «маскировочные костюмы», чтобы быть незаметными для жертв (полосатая окраска тигров, судаков и окуней, пятнистость леопардов и щук и т.д.). Кроме того, чтобы не выдать свое присутствие жертвам, хищникам приходится уделять много внимания гигиене. Тщательно моются не только домашние Васьки и Мурки, но и крупные кошки (рысь, тигр, лев и др.).

Таким образом, взаимоотношения жертв и хищников похожи на ситуацию в мультфильме «Том и Джерри»: в выигрыше оказывается то один, то другой, но они устойчиво сосуществуют в этом бесконечном сериале.

Тем не менее, как и при взаимоотношениях растений и их фитофагов, равновесие в паре «жертва – хищник» наиболее легко достигается в том случае, если у хищника есть естественный «враг» – хищник более высокого порядка или паразит.

Полной защиты от хищников всех особей в популяциях животных-жертв не происходит, так как это привело бы не только к гибели голодающих хищников, но в конечном итоге – к катастрофе популяций жертв. В то же время, при отсутствии или снижении плотности популяции хищников ухудшается генофонд популяции жертв (сохраняются больные и старые животные), и ввиду резкого увеличения их численности подрывается кормовая база.

Взаимоотношения «хозяин – паразит»

Взаимоотношения «хозяин – паразит» – еще один вариант вертикальных взаимоотношений организмов, при которых происходит передача вещества и энергии. Поскольку существуют суперпаразиты

(«паразиты паразитов»), то может происходить многоэтапная передача вещества и энергии от паразита к паразиту.

В естественных экосистемах взаимоотношения «хозяин – паразит» являются одним из важных факторов их поддержания, причем, у паразитов и хозяев вырабатываются специальные механизмы, которые позволяют им устойчиво сосуществовать.

Защитные реакции хозяев могут быть следующими:

– повышение устойчивости к заражению паразитами (устойчивость культурных растений к паразитным грибам может быть повышена селекцией);

– сбрасывание зараженных частей (это особенно характерно для растений-хозяев, которые сбрасывают сильно зараженные листья);

– быстрый рост здоровых тканей взамен пораженных (это имеет место при поедании тканей растений тлями; некоторые сорта ржи способны за счет образования новых побегов уменьшить вред от паразитов, которые заселили часть побегов);

– изоляция органов поражения как «зеленых островов» (формирование галлов у дуба, орешника и других растений после того, как насекомое-паразитоид отложит в ткани листа яйцо);

– уменьшение плотности популяций хозяев, что снижает вероятность распространения паразита и заражения им. Этому помогают хищники: зараженные животные менее подвижны и становятся для них легкой добычей.

В естественных экосистемах экологическое равновесие между популяциями паразитов и их хозяев – нормальное явление. Ситуация изменяется в экосистемах, создаваемых человеком, особенно в сельскохозяйственных, где заражение паразитами может привести к существенному падежу скота. Паразиты представляют опасность и для человека, который может заболеть гельминтозами, вызываемыми разными видами глистов, лямблиозом (при заражении простейшим – лямблией), болезнями бактериальной и вирусной природы. Ущерб человеку могут нанести и насекомые-паразиты (вши, клопы, клещи и др.).

Катастрофическими бывают последствия заноса паразитов в новые районы, где новые хозяева не умеют обороняться от них. Уже в нашем столетии произошли ботанические катастрофы в Америке (гибель зубчатого каштана от занесенного туда из Китая паразитического гриба, вызывающего «рак каштана») и Европе, где от «голландской болезни» почти полностью исчез вяз.

Контрольные вопросы

1. Какие приспособления растений замедляют их потребление фитофагами?

2. За счет каких приспособлений регулируются взаимоотношения жертв и хищников?

3. Почему взаимоотношения «жертва – хищник» из трех звеньев более устойчивы, чем из двух?

4. Чем отличаются взаимоотношения хищничества и паразитизма?
5. Какова роль паразитов в естественных и искусственных экосистемах?

§ 24. МУТУАЛИЗМ

Мутуализм – это форма вертикальных взаимоотношений, при которых каждый взаимодействующий организм получает пользу. Отношениями мутуализма, как правило, связаны виды разных трофических уровней, которые не конкурируют за ресурсы. Мутуализм включает разнообразные формы сотрудничества – от взаимовыгодного, при нарушении которого гибнут оба или один сотрудничающий партнер, до факультативного, которое помогает выживать партнерам, но не является для них обязательным (*протокооперация*).

В экосистемах распространены следующие варианты мутуализма.

Растения и микоризные грибы. Эти взаимоотношения с грибами свойственны большинству видов сосудистых растений (цветковых, голосеменных, папоротников, хвощей, плаунов). Микоризные грибы могут оплетать корень растения и проникать в ткани корня, не нанося ему при этом существенного ущерба. Грибы не способны к фотосинтезу и получают из корней растений органические вещества. За это они «расплачиваются» с растениями тем, что выполняют роль насосов, которые всасывают воду и растворенные в ней питательные элементы. За счет разветвленных грибных нитей в сотни раз увеличивается всасывающая поверхность корней растений. Через микоризу от одного растения к другому (одного или разных видов) могут передаваться органические вещества. (Рис. 40).

Растения и микроорганизмы-азотфиксаторы. Атмосфера планеты состоит в основном из азота. Тем не менее, ни растения, ни животные не способны усваивать из нее этот инертный газ. Обеспечение организмов азотом происходит в основном за счет азотфиксирующих бактерий, которые связаны с растениями отношениями мутуализма. Растения получают азот, а бактерии – органические вещества.

Возможны две формы такого мутуализма – обязательный мутуализм и протокооперация. При обязательном мутуализме азотфиксирующие микроорганизмы живут в корнях растений (бобовых, ольхи и некоторых других), образуя клубеньки (рис. 41). При протокооперации азотфиксирующие микроорганизмы населяют примыкающую к корням часть почвы (ризосферу) и усваивают органические вещества, которые постоянно выделяются в ризосферу корнями.

Растениям взаимоотношения с азотфиксаторами обходятся дорого – на них они затрачивают от 30 до 50% продуктов фотосинтеза. Большими затратами органического вещества на азотфиксацию объясняются более низкие урожаи зернобобовых культур (soя, горох, фасоль и др.) по сравнению со злаками – кукурузой, пшеницей, рожью и др.

Растения и насекомые-опылители. Насекомые-опылители, питаясь за счет растений, переносят пыльцу с одного цветка на другой, причем часто на большие расстояния. Для привлечения насекомых растения обзаводятся «рекламными средствами» (яркие венчики цветков, запах) и для оплаты работы опылителей производят нектар. Кроме того, опылители съедают примерно половину пыльцы.

Отношения растений и насекомых-опылителей могут быть мутуализмом (опыление конкретных видов растений узким кругом насекомых, например у орхидных, губоцветных, бобовых) или протокооперацией (один вид растений опыляется большим числом видов насекомых). Протокооперация характерна для сложноцветных и их опылителей.

Растения и животные, распространяющие их семена. Распространение плодов (и семян) растений с помощью животных широко представлено в природе и называется *зоохорией*. Агентами-распространителями могут быть птицы, поедающие сочные плоды, медведи, копытные. При прохождении через пищеварительную систему животных семена не только не перевариваются, но даже повышается их всхожесть.

Водоросли и грибы в лишайнике. Водоросль обеспечивает гриб органическими веществами, гриб поставляет ей воду и минеральные элементы. Этот вариант обязательного мутуализма представлен весьма широко (имеются сотни видов лишайников). Лишайники первыми заселяют поверхность скал и широко распространены на Севере в условиях крайней скудости ресурсов тепла, влаги и элементов минерального питания.

Млекопитающие и микроорганизмы, населяющие их пищеварительную систему. Большинство животных, включая человека, но особенно травоядные, сами не в состоянии переваривать пищу, и эту роль играют микроорганизмы – бактерии и некоторые простейшие, которые живут в желудочно-кишечном тракте. (Рис. 42).

Человек и сельскохозяйственные животные и растения. Этот вариант мутуализма является протокооперацией, тем не менее, ни человек при современной плотности населения на планете не может обойтись без сельскохозяйственных животных и растений, ни корова, пшеница или рис не могут выжить без человека.

Без изучения мутуализма невозможно понять сложность взаимоотношений организмов в экосистемах. Мутуализм уравнивает антагонизм конкуренции, хищничества и паразитизма.

Контрольные вопросы

1. Что дает экосистеме мутуализм?
2. Расскажите о роли мутуализма растений с грибами в лесу.
3. Какую роль играет мутуализм растений и бактерий-азотфиксаторов?
4. Какую выгоду от растений получают насекомые-опылители?

5. К какому типу относятся взаимоотношения человека и сельскохозяйственных растений и животных?

Справочный материал

Выгода, которую получают от мутуализма сотрудничающие организмы, может быть равной (симметричный мутуализм) или неравной (асимметричный мутуализм). Мутуализм связан плавным переходом с комменсализмом, при котором сотрудничество выгодно только одному из партнеров. При этом на разных стадиях сотрудничества (или, чаще, в разных условиях) большую выгоду может получать то один, то другой партнер.

В некоторых случаях мутуализм может переходить даже в аменсализм (отношения, вредные для одного партнера и нейтральные для другого) или в паразитизм. Таковы взаимоотношения семги и двустворчатого моллюска жемчужницы: личинки жемчужницы паразитируют – живут в жабрах семги, но взрослые моллюски живут независимо на дне и, фильтруя воду, создают условия для жизни рыбы, очень чувствительной к загрязнению. Кроме того, между скоплениями раковин прячется от хищников молодь семги.

На семенах растений, распространяемых муравьями (многие губоцветные, лилейные, маковые, молочайные, лютиковые, сложноцветные), имеются специальные придатки, богатые маслом, которые привлекают муравьев и используются ими в пищу (рис. 43). Сухие зоохорные плоды снабжены различными крючочками и щетинками для прикрепления к шерстному покрову животных, например у репешка, череды, чернокорня, лопуха, дикой моркови.

С помощью животных распространяются споры некоторых видов грибов и мхов.

В кишечнике гладких китов среди 1000 видов бактерий были найдены даже те, которые могут разрушать органические вещества, присутствующие в нефтепродуктах, и канцерогенные полихлорированные бифенилы (!). Наличием этих симбионтов объясняется сравнительно высокая устойчивость этого вида китов к нефтяному загрязнению океана.

Черви-вестиментиферы (тип погонофоры) в стадии личинки являются типичными гетеротрофами со ртом, пищеварительным каналом и анусом. Однако, после того, как они заглатывают серобактерии, происходит редукция органов пищеварения, клетки животного заполняются серобактериями и животное становится «автотрофом». В результате мутуализма бактерии получают сероводород, а животное – органическое вещество. Мутуализм позволяет вестиментиферам очень быстро расти и достигать длины 2,5 м. Аналогично питаются и другие погонофоры, связанные мутуализмом с метанобактериями. Бактерии используют метан, образующийся в нефтяных пластах и поступающий в океан по трещинам в плитах литосферы. Это позволяет использовать погонофоры как биологические индикаторы месторождений нефти.

Жизнь кораллов, слагающих рифы, определяется живущими в них одноклеточными водорослями, которые снабжают животное не только органическим веществом, но и углекислым кальцием для скелета. Без помощи водорослей коралловых рифов просто не было бы. Животное поставляет водорослям питательные элементы и дает убежище. В то же время кораллы остаются преимущественно зоофагами, которые питаются зоопланктоном. Водоросли лишь помогают наиболее эффективно использовать вещества, полученные при гетеротрофном питании; этим мутуализмом объясняется быстрый рост коралловых рифов.

Широко распространен мутуализм водорослей и простейших в планктоне океанических экосистем. Некоторые простейшие, после поедания водорослей, используют их хлоропласты, причем такие «ворованные заводицы фотосинтеза» продолжают работать до тех пор, пока не износятся, после чего простейшие их переваривают.

Среди организмов с развитыми симбиотическими связями особое место занимают муравьи (они лидируют и по биомассе – на их долю приходится до 15% всей биомассы животного мира). Муравьи занимаются «животноводством» – разводят тлю и «растениеводством» – создают грибные сады. В Амазонии они ведут прямо-таки «комплексное сельское хозяйство» – строят гнезда-плантации, куда затаскивают помет позвоночных животных, сажают растения-эпифиты, перенося их семена, а на этих растениях разводят тлю, получение выделений которой и является основной целью организации такой «фермы».

В Центральной Америке у одного из видов муравьев и одного из видов акации возникли симбиотические взаимоотношения не менее тесные, чем между бобовыми и клубеньковыми бактериями. На стебле акации расположены специальные питательные органы, в которых поселяются муравьи, питающиеся сладким нектаром. За эту пищу муравьи ведут сторожевую службу и не только уничтожают насекомых-вредителей, которые пытаются напасть на растение-кормильца, но и сдирают кору и иссушают побеги других деревьев, если они соприкасаются с побегом акации. Таким образом, муравьи осветляют полог и обеспечивают для своей акации нормальный режим освещения. Эксперименты подтвердили, что если уничтожить муравьев, акация быстро погибает от вредителей.

Известно множество других «экзотических» вариантов мутуализма: отношения африканской птицы медоуказчика и капского медоеда (птица находит пчелиное гнездо, а медоед вскрывает его), рыбы-клоуна и актиний (рыба прячется в колонии актиний сама, но охраняет ее от врагов), рыб-чистильщиков и их «клиентов» и др.

§ 25. СИГНАЛЬНЫЕ ВЗАИМООТНОШЕНИЯ ОРГАНИЗМОВ

При горизонтальных взаимоотношениях организмы соревнуются за потребление ресурсов, при вертикальных взаимоотношениях эти ресурсы вещества и энергии передаются по цепям «растение – фитофаг – зоофаг» или

«хозяин – паразит». При мутуализме организмы обмениваются веществом и энергией на взаимовыгодных условиях, что повышает их выживаемость. Иногда взаимоотношения могут быть полезны для одного вида, но не вредят другому.

Кроме этих «материальных» взаимоотношений между организмами существует сложная система *сигнальных взаимоотношений*, которые влияют на распределение ресурсов или их передачу по пищевым цепям. Организмы используют различные сигналы.

Зрительные сигналы. Такие сигналы воспринимаются органами зрения. Примеры зрительных сигналов: яркая окраска венчика цветка, привлекающая опылителя; оранжевые пятна на брюшке жерлянки, предупреждающие о горьком вкусе; пестрая окраска ос и шмелей, говорящая об их защищенности. Большую роль во взаимоотношениях растений и насекомых-опылителей играет не только окраска, но и величина цветка или всего соцветия. К примеру, у растений из семейства сложноцветные или зонтичные сигнал подает не один цветок, а все соцветие, которое видно насекомому с большого расстояния. К зрительным сигналам относятся угрожающие позы и знаки животных (вздыбленная шерсть, оскал).

Звуковые сигналы. Эти сигналы подают друг другу птицы, сообщающие о том, что гнездовой участок занят (пение), или о том, что появилась опасность, к которой нужно подготовиться (спрятаться или коллективно изгнать незваного гостя). Сигналом, предотвращающим стычку самцов, является рычание хищников. Обмениваются звуковыми сигналами насекомые (трещание кузнечиков, «пение» цикад). Дельфины и некоторые насекомые обмениваются сигналами на частотах, недоступных уху человека.

Химические сигналы. Этот способ взаимного оповещения организмов очень широко распространен в природе. Сигнальные вещества животных называются *феромонами*. Животные выделяют феромоны в окружающую среду и таким путем влияют на поведение особей того же вида. Эти вещества действуют при очень низких концентрациях, так как обладают сильным запахом. Различают несколько видов феромонов.

Половые феромоны облегчают встречу особей одного вида для спаривания, они важны для всех животных. Общеизвестны специфические феромоны для мечения территории, которые содержатся в моче собак, волков, представителей кошачьих и др.

Агрегационные феромоны помогают животным собраться вместе в большую группу (например, с их помощью собирается вместе население муравейника).

Выделение феромонов тревоги стимулирует уход особей с опасного участка территории (такие феромоны обнаружены у рыб, ящериц).

В настоящее время наиболее изучены феромоны насекомых. Причем оказалось возможным синтезировать многие сигнальные вещества и использовать их в качестве приманок. Специальные ловушки, внутри которых находятся источники выделения половых и агрегационных

феромонов, позволяют заманивать и уничтожать вредителей сада или леса экологически безопасным способом, без применения гербицидов.

Большую роль во взаимоотношениях растений и насекомых играют запахи, привлекающие опылителей или, напротив, отпугивающие фитофагов.

Химические взаимоотношения между растениями называются *аллелопатией*. Выделения одного растения в атмосферу и особенно из корней в почву могут сдерживать рост другого растения. Однако, поскольку условий для накопления этих веществ в атмосфере и почве нет (их концентрацию постоянно уменьшают ветер и вода), роль аллелопатических взаимоотношений невелика. Они лишь помогают более равномерному размещению корней в почве, так как выделения одного корня для другого являются сигналом, подобным пению птиц: «Занято».

Исключения составляют взаимоотношения растений-хозяев и растений-паразитов (заразиха, повилика, стрига и др.). Для прорастания семени растения-паразита, которое само не способно дать проросток, необходим химический сигнал от корня растения-хозяина. Эти взаимоотношения используются для организации контроля плотности популяции сорняков-паразитов. Ученые раскрыли химический состав сигнальных веществ. Их производят на заводах и вносят на поля для «обмана» семян паразитов. Семена прорастают и, лишенные пищи, которую они должны получать от корня растения-хозяина, погибают.

Контрольные вопросы

1. Какие сигналы используют организмы при взаимоотношениях?
2. Как используются знания о феромонах в сельском хозяйстве?
2. Что такое аллелопатия и какова ее роль в природе?

Справочный материал

При помощи химических и зрительных сигналов у растений и насекомых-опылителей возникают очень устойчивые симбиотические связи. «Рекордсмены» по таким связям – представители семейства орхидных, которые растут и в лесах России, но особенно разнообразны в тропиках. Некоторые орхидные имитируют запахи половых феромонов, «одураченные» самцы-опылители летят на цветок в надежде на встречу с самкой и опыляют его.

Звуковые сигналы используют для управления поведением птиц. Трансляция записанного на магнитофон сигнала тревоги или крика хищной птицы помогает отпугнуть птиц от полей, аэродромов или других мест, где их присутствие нежелательно. Запись голоса курицы-наседки может улучшить аппетит инкубаторских цыплят.

§ 26. ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ НИША

Автотрофные организмы экосистемы усваивают солнечную энергию и производят органическое вещество, которое перерабатывается гетеротрофами. Редуценты разлагают органическое вещество, возвращая составляющие его минеральные элементы в почвенный раствор. В этом сложнейшем «производстве» участвуют популяции разных видов. Каждая популяция занимает некоторое пространство и потребляет различные ресурсы в определенное время (в разное время суток, в разные сезоны года). Совокупность всех факторов среды, в пределах которых возможно существование популяции (местообитания, используемых ею ресурсов и ритма их потребления в экосистеме), называется *экологической нишей*.

Крупный американский эколог Ю. Одум очень удачно назвал экологическую нишу профессией вида в экосистеме. Действительно, она отражает то, из каких веществ (неорганических, органических веществ живых растений или животных, детрита), какую продукцию и для какого потребителя производит вид (то есть кого вид ест и кто ест его). Кроме того, экологическая ниша включает и «график работы»: есть животные ночные (сова, летучая мышь) и дневные; работающие «круглый год» и «уходящие в отпуск» на холодный период (медведь); постоянно работающие «на одном месте» и подрабатывающие часть года «на стороне» (птицы, мигрирующие в холодное время года в теплые края).

Разделение популяциями разных видов пространства и ресурсов называется *дифференциацией экологических ниш*. Это наиболее наглядно у животных. Представители разных видов имеют неодинаковые рационы питания. Птицы потребляют разные плоды и семена растений, ловят разных насекомых и червей. Различаются рационы и у грызунов, и у более крупных млекопитающих. Легко наблюдать дифференциацию ниш в экосистеме озера: организмы одних видов активно плавают (нектон) или пассивно «прячутся» (планктон) в толще воды, а другие ведут придонный образ жизни (бентос). И у разных видов нектона, планктона и бентоса пища неодинакова.

Растения имеют один тип питания: практически у всех видов пищевой рацион включает раствор минеральных веществ, диоксид углерода и солнечный свет. Тем не менее, и у них экологические ниши дифференцированы. Есть растения светолюбивые и теневыносливые; их корневые системы расположены на разной глубине; им требуются различные элементы минерального питания и неодинаковое количество воды; в разное время они цветут и плодоносят; имеют собственных опылителей.

Главный результат дифференциации ниш – снижение конкуренции. Теневыносливые растения не конкурируют со светолюбивыми, а довольствуются полумраком под пологом деревьев. Менее остра конкуренция за ресурсы почвенного питания между растениями, если корневая система одного из них сконцентрирована у поверхности почвы, а другого – уходит в более глубокие слои. Во время цветения растениям требуется особенно много ресурсов, и цветение по очереди также снижает конкуренцию.

Принцип дифференциации экологических ниш используется в сельском хозяйстве: выращивание совместно нескольких сортов или даже нескольких видов растений (так называемые сортосмеси и поликультуры) позволяет за счет снижения конкуренции между культурными растениями и более полного использования ресурсов почвы и света повышать урожай. При этом отсутствие свободных ниш снижает засоренность посевов, и можно обходиться без гербицидов.

Дифференциация ниш у животных может сопровождаться сигналами, извещающими о том, что участок занят (волки и лисы метят мочой стволы деревьев, птицы поют), а у растений, как правило, нет специальных сигнальных механизмов для отграничения своей экологической ниши, хотя некоторые могут выделять в атмосферу или почву вещества, препятствующие росту соседей.

Примером разделения экологических ниш являются ярусы в лесу (рис. 44): в каждом ярусе (древесном, подлеске, кустарниковом, травяном, моховом) – свое население, хотя некоторые организмы могут использовать разные ярусы (белки живут в основном на деревьях, но спускаются и в ярус кустарников, а иногда и на землю). В разных ярусах – разный режим освещения, но растения одного яруса могут иметь разную по глубине корневую систему. В почве различаются ниши хорошо аэрированного слоя у поверхности и более глубоких слоев, где воздуха мало. Особым слоем-нишей является *подстилка* – опавшие полусгнившие листья на поверхности почвы.

Контрольные вопросы

1. Что дает экосистеме дифференциация экологических ниш у организмов разных видов?
2. Есть ли различия в дифференциации ниш у видов животных и растений?
3. Объясните, как связаны дифференциация ниш и ярусность в лесу?

(ДОП.) § 27. ФУНДАМЕНТАЛЬНАЯ И РЕАЛИЗОВАННАЯ ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ НИШИ

У организмов каждого вида различаются две экологические ниши – *фундаментальная* и *реализованная*. Познакомимся с их особенностями.

В лесной зоне европейской части России на лугах преобладают невысокие злаки с узкими листьями – полевица тонкая, душистый колосок, овсяница красная. Эти растения хорошо приспособлены к произрастанию на бедных элементами питания подзолистых почвах. Если собрать их семена, высеять на грядки и удобрить минеральными азотными удобрениями или навозом, то урожайность этих невысоких растений может возрасти в 3–4 раза. Если же удобрить естественные луга с преобладанием мелких злаков, то эти злаки могут вообще исчезнуть из травостоя. Основными растениями (доминантами) в нем станут злаки с широкими листьями – ежа сборная,

овсяница луговая и особенно пырей ползучий, которых до этого в травостое было немного.

Объяснить, почему душистый колосок или полевица тонкая в искусственном посеве и естественной экосистеме по-разному реагирует на удобрение, помогает концепция двух ниш.

Фундаментальная ниша – это те условия среды, в которых вид может существовать и даже процветать при отсутствии конкуренции, а реализованная ниша – это часть фундаментальной ниши, которую он способен отстоять от конкурентов при их наличии.

В условиях бедных почв пырей или ежа сборная, требовательные к элементам минерального питания, растут плохо, а узколистные мелкие злаки за счет «верблюжьего характера» (особенностей корневой системы и «умения» экономить питательные вещества) – хорошо. И потому они побеждают в конкуренции с широколистными злаками.

Широколистные злаки, напротив, хорошо растут на богатых почвах, на которых душистый колосок и другие виды бедных почв не способны конкурировать с ними. Таким образом, у душистого колоска и других луговых злаков лесной зоны фундаментальная ниша охватывает и бедные, и богатые почвы, а реализованная – только бедные.

Аналогичен пример со степными злаками, приспособленными к сухим почвам, – ковылями и типчаком. При выращивании на грядке продуктивность будет выше, если их поливать. Если же на грядке появятся те луговые виды, которые вытеснили на удобренном лугу душистый колосок, то ковыль и другие степные злаки в конкуренции с ними также проигрывают. Фундаментальная ниша этих степных злаков охватывает и степные, и луговые почвы, а реализованная – только степные, где они нормально растут благодаря мощной корневой системе и узким листьям, экономно испаряющим воду. Поэтому экологи образно называют ковыли не сухолюбями, а сухотерпцами.

Чтобы растение могло освоить всю фундаментальную нишу, его нужно защитить от конкуренции. Вот почему в ботанических садах растут растения из разных районов и чувствуют себя неплохо, пока их охраняет человек. Практически в условиях фундаментальной ниши оказываются все культурные растения, которые человек защищает от сорняков.

Контрольные вопросы

1. Чем отличается реализованная ниша от фундаментальной?
2. Какие ниши занимают организмы в природных экосистемах?
3. Почему в условиях ботанических садов или зоопарков организмы разных видов могут существовать в таких условиях, в которых они не выжили бы в природных экосистемах?

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Живое население экосистемы (ее биота) – это не простая сумма организмов разных видов, а сложно взаимодействующее единство. В состав

экосистемы входят лишь те виды организмов, которые могут жить в формирующих ее условиях среды – абиотических и биотических. В естественных экосистемах нет «полезных» и «вредных» видов.

Все взаимоотношения в экосистеме разделяются на горизонтальные – между организмами одного трофического уровня и одного типа питания (между растениями, фитофагами, зоофагами, детритофагами, паразитами) и вертикальные – между организмами разных трофических уровней.

При горизонтальных взаимоотношениях организмы конкурируют за ограниченные ресурсы среды и помогают друг другу (но лишь на определенных этапах жизни). Имеются специальные «механизмы» для снижения конкуренции: уменьшение плотности популяций конкурирующих видов, специализация разных популяций для потребления разных ресурсов.

При вертикальных взаимоотношениях консументам и редуцентам передаются вещество и энергия, запасенные продуцентами (пищевые отношения), и, кроме того, возможно взаимовыгодное сотрудничество организмов – мутуализм. Мутуализм распространен в природе не менее широко, чем конкуренция или пищевые отношения. Мутуализм способствует устойчивому сосуществованию видов в экосистемах.

У организмов, связанных пищевыми взаимоотношениями в естественной экосистеме (фитофагия, хищничество, паразитизм), есть специальные приспособления для того, чтобы не произошло полное уничтожение популяции-ресурса: снижающие поедаемость растений фитофагами; защищающие жертвы от хищников; повышающие устойчивость хозяев к заражению паразитами. Пары видов, связанные пищевыми взаимоотношениями, особенно успешно сосуществуют, если в экосистеме есть третий вид, который контролирует плотность популяций «обидчика» сверху (хищник более высоко порядка или паразит).

Между организмами преобладают материальные взаимоотношения, в ходе которых они либо делят ресурсы (конкуренция), либо используют друг друга в одностороннем порядке (пищевые отношения), либо сотрудничают в потреблении ресурсов (мутуализм). Однако большую роль играют сигнальные (информационные) взаимоотношения – влияние организмов друг на друга с помощью выделения химических веществ, звуковых или зрительных сигналов. Эти сигналы смягчают остроту пищевых отношений или конкуренции. Кроме того, сигнальные взаимоотношения помогают выживанию популяций тем, что облегчают встречу половых партнеров, информируют популяцию об опасности и т.д.

Разнообразные взаимоотношения организмов друг с другом и с условиями среды привели к тому, что разные виды экосистемы разделили пространство, ресурсы и «графики работы» – заняли разные экологические ниши. Различия экологических ниш снижают уровень конкуренции и увеличивают биологическое разнообразие и продуктивность экосистемы.

Индивидуальное задание

Тема реферата: «Почему в естественных экосистемах нет «полезных» и «вредных» видов?»

Задача исследования – по данным литературы изложить проблему сосуществования видов в естественных экосистемах. Сравните взаимоотношения организмов в естественных и сельскохозяйственных экосистемах.

Для выполнения работы следует использовать двухтомник М. Бигона с соавторами и книгу А.М. Гилярова по популяционной экологии.

ГЛАВА 6. ФУНКЦИЯ ЭКОСИСТЕМЫ

Мы знаем, какие организмы входят в состав экосистемы и какие взаимоотношения связывают их друг с другом. Теперь рассмотрим главную функцию экосистемы – производство органического вещества за счет поступающей в экосистему энергии и элементов питания.

§ 28. ПИЩЕВЫЕ ЦЕПИ И СЕТИ

Организмы разных трофических групп, связанные в процессе питания и передачи энергии от зеленых растений к фитофагам и хищникам, образуют *пищевые цепи*. На рис. 45 приведено пять примеров пищевых цепей. Две первые пищевые цепи представляют естественные экосистемы – наземные и водные. В наземной экосистеме цепь замыкают такие хищники, как лиса, волк, орел, питающийся мышами или сусликами. В водной экосистеме солнечная энергия, усвоенная в основном водорослями, переходит к мелким консументам – рачкам-дафниям, далее к мелким рыбам (плотва) и, наконец, к крупным хищникам – щуке, сому, судаку. Число звеньев пищевой цепи в наземных экосистемах – не более четырех, а в водных – может достигать шести.

В сельскохозяйственных экосистемах пищевая цепь может быть полной – при разведении сельскохозяйственных животных (третий пример), или укороченной, когда выращиваются растения, непосредственно используемые человеком в пищу (четвертый пример).

Наряду с цепями передачи энергии через живое органическое вещество (продуцент – консумент), называемыми *пастбищными*, существуют *детритные* пищевые цепи с участием детритофагов, использующих мертвое органическое вещество, и редуцентов. Эти цепи могут быть двух типов: «детритофаг – редуцент» и «детритофаг – хищник».

В первом случае мертвое органическое вещество, съеденное и преобразованное детритофагами, разрушается после их смерти редуцентами до минеральных соединений, которые поступают в почвенный раствор и повторно используются продуцентами. В разрушении этого вещества принимают участие разные организмы по принципу эстафеты. Например, при разрушении растительного опада, трупов или экскрементов животных работает целый конвейер из животных, грибов и бактерий.

Во втором случае детритофага съедает хищник, и вещества детрита, потребленного детритофагом, вовлекаются в круговорот, минуя стадию полного разрушения и потребления продуцентами. Например (пятая пищевая цепь), дождевой червь, питающийся опавшими листьями, будет съеден птицей. Личинки мухи-падальщицы, питающиеся на трупe животного, могут стать пищей травяной лягушки, которую, в свою очередь, съест уж.

Пищевые цепи «детритофаг – хищник» широко распространены в природе и используются в хозяйстве человека (откорм домашней птицы дождевыми червями или личинками мух). Пищевые цепи «детритофаг – редуцент» играют важную роль для повышения плодородия почв: запас питательных элементов в почвенном растворе должен быстро пополняться продуктами разложения детрита (в том числе и мертвых детритофагов).

Приведенные примеры упрощают действительную картину, так как одно и то же растение может быть съедено разными травоядными животными, а они, в свою очередь, стать жертвами разных хищников. Лист растения может съесть гусеница или слизень, гусеница может стать жертвой жука или насекомоядной птицы, которая может заодно склевать и самого жука. Жук может стать также жертвой паука. Поэтому в реальной природе складываются не пищевые цепи, а *пищевые сети* (рис. 46).

Контрольные вопросы

1. Что такое пищевая цепь?
2. Какие пищевые цепи вы знаете?
3. Как может участвовать в пищевых цепях детрит?
4. В каких пищевых цепях участвует человек?

(ДОП.) § 29. БЮДЖЕТ СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГИИ В ЭКОСИСТЕМЕ

На рис. 47 показано, как расходуется в экосистеме поступающая на поверхность планеты солнечная энергия. Количество этой энергии очень велико и составляет примерно 55 ккал на 1 см² в год. Однако растения фиксируют не более 1–2% солнечной энергии (а в пустынях и в океане – сотые доли процента), остальное затрачивается на нагревание атмосферы, суши и испарение воды. Из накопленной растениями солнечной энергии сравнительно немного – не более 7–10% в наземных экосистемах и до 40% в водных – достается растительноядным животным, питающимся живыми растениями. Остальную ее часть используют симбиотрофы (бактерии и грибы), которые получают питание из корней растений, выделяющих в почву углеводы (или живут непосредственно в корне), и детритофаги и редуценты, питающиеся отмершими растениями.

С повышением трофического уровня одновременно растут и полнота выедания в живом состоянии, и усвоение энергии из потребленной пищи. Так, крупные хищники выедают до 70% своих жертв, а усвоение энергии при этом достигает 30-60%.

Таким образом, если большая часть биомассы растений (особенно в наземных экосистемах) потребляется детритофагами и редуцентами в отмершем состоянии, то основная часть биомассы животных (кроме крупных хищников, которые завершают пищевые цепи и не имеют естественных врагов) съедается в живом состоянии. Крупные хищники умирают от болезней, и их биомасса становится пищей детритофагов и редуцентов.

На снимках, сделанных из космоса, наземные экосистемы имеют зеленый цвет, а водные – голубой. Если бы фитофаги водных экосистем работали также «плохо», как в наземных, то водные экосистемы на космоснимках были бы тоже зелеными.

Контрольные вопросы

1. Какую часть солнечной энергии могут усвоить растения экосистемы в процессе фотосинтеза?
2. Какая часть солнечной энергии тратится на поддержание круговорота воды в биосфере?
3. Какова судьба солнечной энергии, зафиксированной растением в процессе фотосинтеза?
4. Какая часть биомассы растений съедается в живом состоянии в наземных и водных экосистемах?
5. Каковы закономерности перехода энергии по пищевым цепям с повышением трофического уровня?

Справочный материал

Для понимания процессов превращения энергии в экосистеме полезны *законы термодинамики*, которые сформулированы физиками.

Первый закон термодинамики гласит, что энергия не возникает и не исчезает, а только переходит из одной формы в другую. Поэтому энергия в экосистеме не может появиться сама собой, а поступает в нее извне – от Солнца или в результате химических реакций неорганических веществ. В гетеротрофные антропогенные экосистемы энергия поступает от специальных энергетических устройств, на которых получается электрическая энергия или с углеродистыми энергоносителями.

Второй закон термодинамики – о снижении качества энергии. При любом превращении энергии некоторое ее количество всегда переходит в менее качественную, менее полезную, энергию. Так, лишь часть поглощенной растением солнечной энергии расходуется на продукционный процесс, остальная рассеивается при дыхании в виде тепла. При переходе энергии с первого трофического уровня (продуцентов) на второй (фитофагов и симбиотрофов), третий (хищников первого порядка) и т.д. значительное ее количество также рассеивается и снижает свое качество.

В антропогенных экосистемах – сельскохозяйственных, городских, промышленных – человек стремится уменьшить бесполезное рассеивание дорогостоящей энергии.

В соответствии с законами термодинамики экосистема и входящие в ее состав организмы существуют до тех пор, пока поступает энергия извне. Однократное использование энергии, протекающей через экосистему (и круговорот веществ) – основной закон функционирования экосистемы

Понять действие законов термодинамики несложно на примерах-аналогиях. Так, для нагревания чайника с водой необходима энергия. Если для этого используется газовая плита, то при нагревании воды более качественная энергия газа переходит в тепловую, часть которой идет на нагревание воды, а часть рассеивается в окружающее пространство. Если газ выключить, то вода в чайнике начнет остывать, и так будет до тех пор, пока ее температура не сравняется с температурой окружающего воздуха. (Вот почему второй закон термодинамики называют еще «законом выравнивания энергии».)

(ДОП.) § 30. АККУМУЛЯЦИЯ ВЕЩЕСТВ ОРГАНИЗМАМИ

В экосистеме вещества, в отличие от энергии, используются многократно: после гибели организмов они возвращаются редуцентами в окружающую среду. Однако при прохождении веществ по «эстафетам» пищевых цепей концентрация некоторых из них повышается. Так, на этапе «растение – фитофаг» в несколько раз возрастает содержание азота и фосфора (последнего – особенно у рыб).

В то же время, есть вещества (как правило, из числа загрязняющих окружающую среду и не нужных для нормальной жизни организмов), концентрация которых при прохождении по пищевой цепи может возрастать в десятки и сотни раз. Этот процесс называется *биологической аккумуляцией веществ*.

На каждом следующем трофическом уровне концентрация этих веществ возрастает примерно в 10 раз. В итоге в тканях живых организмов их содержание может быть выше, чем в окружающей среде, в тысячи раз.

Так, концентрация свинца в организмах зоопланктона выше, чем в окружающей среде, в 300 раз, а у моллюсков бентоса – в 4000 раз. У полярных крачек концентрация может увеличиваться даже в 10 млн. раз. Концентраторами ртути являются рыбы, что может, при использовании их в пищу, стать причиной тяжелых заболеваний и даже смерти человека.

В промышленных городах нередко в результате биологической аккумуляции настолько повышается концентрация загрязняющих веществ в материнском молоке, что оно становится опасным для младенцев.

Организмы активно концентрируют радиоактивные изотопы, особенно опасно накопление изотопов с большим физическим периодом полураспада. Если принять содержание стронция-90 в воде за единицу, то в донных отложениях оно достигает 200, в водных растениях – 300, в тканях карповых рыб – 1000, в костях окуня – 3000, в костных тканях животных, питающихся рыбой, – 3900 единиц.

Способность организмов накапливать загрязняющие вещества следует учитывать при контроле загрязнения окружающей среды.

Контрольные вопросы

1. Какую опасность для человека представляет накопление в пищевых цепях загрязняющих веществ?
2. Почему в промышленных городах нередко рекомендуют вскармливать младенцев искусственными молочными смесями?

Справочный материал

Морские животные асцидии аккумулируют ванадий, его концентрация в теле животного может достигать 0,16%. В Японии этот редкий металл уже добывают из таких «живых месторождений». Активными накопителями металлов являются микроорганизмы.

Последствия отравления ртутью получили название «болезнь Минамата» – по названию бухты в Японии, где в 1953-1969 гг. произошло отравление рыбой, которая аккумулировала ртуть из сточных вод промышленных предприятий. У побережья Корсики в теле угрей содержание ртути достигает 600 мг на 1 кг. Развитие «болезни Минамата» возможно, если потребление угрей одним человеком составит 2 кг в неделю. Из-за высокого содержания ртути в воде Северного моря не рекомендуется есть выловленную там рыбу чаще двух раз в неделю. А рыбу из реки Рейн вообще не едят.

В последних звеньях пищевых цепей у позвоночных животных в костных и жировых тканях могут накапливаться токсичные органические соединения – бензо(а)пирен, диоксины. В тканях устриц, гагары и других животных содержание ДДТ может быть выше, чем в окружающей среде, в 50–100 тыс. раз. (Рис. 48).

Радиоактивные изотопы особенно активно концентрируются в грибах (особенно в масленках, моховиках и волнушках), некоторых видах птиц (утки) и рыб (линь, сом, вьюн). Это нужно учитывать при использовании продуктов питания, которые могут быть сильно загрязнены даже при невысоком радиоактивном загрязнении окружающей природной среды.

Биологическая аккумуляция радиоактивных изотопов человеком может происходить как при их попадании в организм с водой и воздухом, так и через посредников в пищевой цепи. Радиоактивный йод, к примеру, вначале усваивается растениями, затем попадает в молоко коров и после этого – в организм человека.

Разные радиоактивные вещества накапливаются в разных органах. Так, йод – в щитовидной железе; радон, уран, плутоний, криптон – в легких; сера – в коже; кобальт – в печени; калий и цезий – в мышцах; полоний – в селезенке; рутений – в почках. Практически все радиоактивные элементы накапливаются в костях и печени.

§ 31. БИОЛОГИЧЕСКАЯ ПРОДУКТИВНОСТЬ ЭКОСИСТЕМЫ

Автотрофные экосистемы можно сравнить с промышленным предприятием, которое производит различные органические вещества. Используя солнечную энергию, диоксид углерода и элементы минерального питания, экосистемы производят *биологическую продукцию* – древесину, листовую массу растений, плоды, животную биомассу. Производительность экосистемы, измеряемая количеством органического вещества, которое создано за единицу времени на единицу площади, называется *биологической продуктивностью*. Единицы измерения продуктивности: г/м² в день, кг/м² в год, т/км² в год.

На рис. 49 показана структура биологической продукции экосистемы. Различают *первичную биологическую продукцию*, которую создают растения в процессе фотосинтеза из диоксида углерода, воды и минеральных элементов, и *вторичную биологическую продукцию*, которую создают гетеротрофы (консументы и редуценты) в результате переработки растительной и животной биомассы. Первичную продукцию подразделяют на *валовую* – общее количество созданного органического вещества и *чистую* – то, что осталось после расходов на дыхание и корневые выделения. У большинства растений чистая продукция составляет примерно половину от валовой.

Поскольку консументы лишь используют ранее созданные органические вещества, вторичную продукцию на валовую и чистую не разделяют. Но ее количество также зависит от расходов на дыхание, которое тем больше, чем больше энергии затрачивает организм. При интенсивной физической нагрузке (например, у птиц во время миграции) продукция уменьшается. Привесы у сельскохозяйственных животных убывают, если им приходится затрачивать много энергии на переходы с отдаленных пастбищ или согревание тела в холодном помещении.

При переходе энергии с одного трофического уровня на другой (от растений к фитофагам, от фитофагов к хищникам первого порядка, от хищников первого порядка к хищникам второго порядка) с экскрементами и затратами на дыхание теряется примерно 90% энергии. Кроме того, фитофаги съедают только часть биомассы растений, а остальная – пополняет запас детрита, который затем разрушают редуценты. Поэтому вторичная биологическая продукция в 20–50 раз меньше, чем первичная.

По продуктивности (в сыром весе) экосистемы разделяются на четыре класса.

1. Экосистемы очень высокой биологической продуктивности – свыше 2 кг/м² в год. К ним относятся заросли тростника в дельтах Волги, Дона и Урала. По продуктивности они близки к экосистемам тропических лесов, коралловых рифов и глубоководных «оазисов» рифтовых зон океана.

2. Экосистемы высокой биологической продуктивности – 1–2 кг/м² в год. Это липово-дубовые леса, прибрежные заросли рогоза или тростника

на озере, посевы кукурузы и многолетних трав при орошении и удобрении высокими дозами минеральных удобрений.

3. Экосистемы умеренной биологической продуктивности – 0,25–1 кг/м² в год. Такую продуктивность имеют многие посевы, сосновые и березовые леса, сенокосные луга и степи, заросшие водными растениями озера, «морские луга» из водорослей в Японском море.

4. Экосистемы низкой биологической продуктивности – менее 0,25 кг/м² в год. Это арктические пустыни островов Северного Ледовитого океана, тундры, полупустыни Прикаспия, вытопанные скотом степные пастбища с низким и редким травостоем, горные степи, которые развиваются на почвах толщиной не более 5 см и состоят из растений-камнелюбов, покрывающих поверхность почвы на 20–40%. Такая же низкая продуктивность и у большей части морских экосистем.

Средняя продуктивность экосистем Земли не превышает 0,3 кг/м² в год, так как на планете преобладают малопродуктивные экосистемы пустынь и океанов.

На рис. 50 и 51 приведены карты первичной продуктивности на суше и в океане (использован показатель – масса сухого вещества, которое в 2.5-3 раза ниже сырой биомассы).

Биологическая продуктивность экосистемы отличается от *запаса биомассы*. Некоторые организмы в экосистеме живут много лет (деревья, крупные животные), и их биомасса переходит из года в год как некоторый капитал. На рис. 52 показано соотношение запаса биомассы и биологической продуктивности в некоторых экосистемах.

Биомасса леса велика за счет многолетних частей деревьев – стволов, веток, корней. Поэтому ежегодный прирост биологической продукции – новые листья, молодые веточки и корни, очередное годичное кольцо древесины и травяной покров – в 30–50 раз меньше, чем запас биомассы. На лугу запас биомассы значительно меньше, и он образован в основном корнями, живущими в почве по несколько лет, и корневищами растений. Он больше биологической продуктивности только в 3–5 раз.

В однолетних агроценозах (посевах культурных растений) биологическая продуктивность и запас биомассы практически равны, так как урожай надземных частей растений (и подземных, если это корнеплоды) убирают, а пожнивные остатки ржи или пшеницы запахивают в почву, где они к весне перегнивают. Как в луговой экосистеме, так и в экосистеме поля длительность жизни многочисленных почвенных беспозвоночных измеряется неделями и месяцами. Их биологическая продуктивность либо равна запасу биомассы, либо больше. Водоросли и мелкие беспозвоночные животные в водоемах живут по несколько дней или недель и потому за лето дают несколько поколений. В каждый конкретный момент биомасса организмов в озере или пруде меньше, чем их биологическая продукция за вегетационный сезон.

В пресноводных и морских экосистемах за счет того, что организмы зоопланктона живут дольше, чем водоросли фитопланктона, запас биомассы животных может быть выше запаса биомассы растений.

Контрольные вопросы

1. Объясните различия первичной, вторичной, чистой и валовой биологической продукции.
2. Какова биологическая продуктивность разных экосистем?
3. Объясните различия понятий «биологическая продуктивность» и «запас биомассы».
4. Почему в водных экосистемах запас биомассы больше, чем биологическая продукция?

Справочный материал

На одного жителя России приходится 230 т первичной биологической продукции с экосистем площадью 11,5 га, что намного превышает потребность человека в количестве продукции, которая составляет примерно 40 т. При этом на Дальнем Востоке избыточной продукции много больше, чем в европейской части (соответственно 90% и 60%). Однако для обеспечения человека важно не только количество, но и качество биологической продукции. Таких ее фракций, как зерно, пастбищный корм, ценная древесина хвойных, пригодная для производства пиломатериалов, в большинстве районов России не хватает. Структура производства биологической продукции должна совершенствоваться – это задачи лесного и сельского хозяйства.

§ 32. ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПИРАМИДЫ

Биомасса организмов разных трофических уровней неодинакова. В наземных экосистемах с повышением трофического уровня она убывает, потому что, как мы уже говорили, энергия теряется при переходе с одного уровня на другой. Соотношение биомасс организмов разных трофических уровней изображают графически в виде *пирамиды биомассы* (рис. 53). Биомассу организмов каждого трофического уровня представляют в виде прямоугольника, длина или площадь которого пропорциональна количеству биомассы.

Если в наземных экосистемах с повышением трофического уровня запас биомассы уменьшается, то в водных – от первого трофического уровня ко второму (фитопланктон – зоопланктон) увеличивается, а потом при переходе на уровень рыбного населения вновь снижается. И потому, в наземных экосистемах пирамида имеет форму «мавзолея», а в водных – «юлы». Основной продуцент в этих экосистемах – фитопланктон. Одноклеточные водоросли, преобладающие в нем, живут от нескольких дней

до нескольких недель. Организмы второго (потребители планктона) и последующих уровней живут дольше и накапливают большую биомассу.

Впрочем, такая пирамида может наблюдаться не во все сезоны года. Весной, в период массового развития планктона («цветения» воды) его биомасса может быть выше биомассы организмов второго и третьего трофических уровней.

Кроме пирамид биомассы, строят *пирамиды численности*. Но они менее удобны, поскольку размеры организмов одного трофического уровня сильно различаются. Например, в числе продуцентов леса оказывается и дуб, и крохотная адокса или мох, а среди фитофагов – лось и гусеница. Строят также *пирамиды энергии*, которые отражают ее переход с одного трофического уровня на другой.

Контрольные вопросы

1. Что такое экологическая пирамида биомассы?
2. В чем отличия пирамид биомассы наземной экосистемы и озера?

§ 33. ФАКТОРЫ, ОГРАНИЧИВАЮЩИЕ БИОЛОГИЧЕСКУЮ ПРОДУКТИВНОСТЬ ЭКОСИСТЕМ

Биологическая продуктивность экосистем – основа жизни биосферы и человека как ее части. Она зависит от ресурсов почвы (ее обеспеченности питательными элементами и влагой), атмосферы, солнечного света и тепла. Каждый из этих факторов (ресурсов или условий) незаменим: при отсутствии света или диоксида углерода в атмосфере нельзя повысить продуктивность экосистемы высокими дозами удобрений или обильным поливом. При низкой температуре в равной мере будут бесполезны как полив, так и удобрение.

Тем не менее, продуктивность разных экосистем зависит от разных экологических факторов, в первую очередь от тех, которые являются лимитирующими. В тундре таким фактором является тепло, в тайге – богатство почвы элементами питания, в степи – увлажнение и засоление почвы.

Чтобы повысить продуктивность экосистем (в первую очередь сельскохозяйственных), человек стремится уменьшить влияние лимитирующих факторов – при недостатке тепла создает закрытый грунт (теплицы, парники); почвы, бедные элементами питания, удобряет; в условиях засушливого климата проводит мероприятия по сбережению влаги (снегозадержание, специальные приемы обработки почвы, усиливающие впитывание воды и закрытие влаги) и орошает влаголюбивые культуры.

Кроме того, биологическая продуктивность может быть повышена за счет культур, которые более эффективно используют естественные ресурсы. Например, в засушливом климате высокую продуктивность можно обеспечить, выращивая сорго.

Иногда человек повышает продуктивность естественных экосистем: при применении минеральных удобрений повышается урожай лугов,

увеличивается прирост деревьев, становится больше ценных ресурсных растений (например, малины). Однако самое важное при использовании биологической продукции естественных экосистем – сохранить ее за счет рационального использования.

Биологическая продуктивность часто снижается при загрязнении экосистем газообразными или жидкими ядовитыми отходами промышленных и сельскохозяйственных предприятий. Поэтому очень важно делать все возможное, чтобы эти факторы как можно меньше влияли на экосистемы.

Контрольные вопросы

1. Какие факторы определяют биологическую продуктивность экосистем?
2. Может ли человек влиять на биологическую продуктивность экосистем?

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Функция экосистемы, то есть ее «работа», заключается в производстве органических веществ из неорганических соединений продуцентами, их дальнейшей переработке консументами и разрушении редуцентами. Организмы, связанные в процессе питания, образуют пищевые цепи. Различают пастбищные (первым организмом, который съедается, является растение) и детритные (первым звено цепи – мертвое органическое вещество) пищевые цепи. В разных экосистемах длина пищевых цепей различается: в наземных экосистемах число звеньев бывает не более 3–4, в водных – возрастает до 5–6.

По пищевым цепям передается не только вещество, но и энергия, однако если после разложения органических соединений редуцентами составляющие их вещества возвращаются в окружающую среду и могут вновь использоваться, то энергия используется однократно. После того, как энергия усвоена продуцентами, по мере прохождения по пищевой цепи она постепенно рассеивается. Круговорот веществ и однократное прохождение энергии, которая «раскручивает» этот круговорот, является главным законом функционирования экосистемы.

Результатом работы экосистемы является биологическая продукция. Она подразделяется на первичную (образованную продуцентами) и вторичную (результат переработки первичной биологической продукции консументами). Скорость работы экосистемы – биологическая продуктивность – измеряется в весовых единицах продукции на единицу площади за определенный отрезок времени. От продуктивности отличается биомасса – количество органического вещества, которое учитывается в момент наблюдения. В наземных экосистемах биомасса может быть в 50 раз больше, чем биологическая продуктивность (лес) или равна ей (поле). Продуктивность водных экосистем может быть выше биомассы, так как их

основные продуценты – водоросли живут недолго, и за лето сменяется несколько поколений.

Биологическая продуктивность экосистемы зависит от сочетания факторов среды. Чем оно благоприятнее, тем продуктивность выше. В определении продуктивности особую роль играют лимитирующие факторы: тепло – в тундре, богатство почвы элементами минерального питания – в тайге, количество влаги – в степи. Уменьшая влияние лимитирующих факторов, человек может повышать продуктивность экосистем.

Индивидуальное задание

Тема реферата: «Как работает экосистема?»

Изложите в реферате круг вопросов, раскрывающих экосистему как «предприятие», производящее и перерабатывающее различные органические вещества. Охарактеризуйте работу основных «цехов» этого «предприятия». Дайте прогноз, что произойдет в экосистеме, если выйдет из строя один из «цехов».

В качестве основного источника материала используйте двухтомник Ю. Одума «Экология».

Глава 7. ДИНАМИКА ЭКОСИСТЕМ

Экосистемы – явления динамичные. При этом, поскольку любая экосистема представляет собой «матрешку», то во многих случаях маленькие «матрешки» могут быстро изменяться, а большие – остаются более или менее постоянными.

Изменения экосистем очень разнообразны. Они бывают обратимыми (протекающими по кругу) и необратимыми, вызываются абиотическими и биотическими факторами. Обратимые изменения могут быть суточными, сезонными и многогодичными.

Необратимые изменения экосистем называются экологическими сукцессиями. Они могут вызываться естественными (природными) причинами или влиянием человека.

§ 34. ОБРАТИМЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ ЭКОСИСТЕМ

Экосистемы постоянно меняются в зависимости от ритмов изменений абиотических факторов – суточных, сезонных, многолетних, и от биологических циклов входящих в их состав растений и животных.

Суточная динамика экосистем. В водных экосистемах планктон по разному распределен в разное время суток: в светлое время он рассредоточен в толще воды, а в вечерние и утренние часы, когда на водную поверхность поступает меньшее количество света, планктон концентрируется ближе к поверхности.

Знаменитый каспийский лотос, «поля» которого есть в Астраханском заповеднике, на ночь закрывает свои крупные цветки, листья при этом опускаются на поверхность воды и плавают как листья кувшинки. В дневные часы цветки раскрываются, а черешки поднимают листья над поверхностью воды на несколько сантиметров. Все это сказывается на поведении других обитателей водной экосистемы, особенно живущих на поверхности воды.

Сезонная динамика экосистем. В разные сезоны года различается биологическая продукция экосистем: в летние месяцы она достигает максимума, а в зимние падает почти до нуля. В умеренной полосе в зимнее время часть обитателей улетает в теплые края (птицы) или укладываются на зимнюю спячку в берлоги и норы (медведь, барсук). Изменяется поведение тех животных, которые остаются на зиму в «своих» экосистемах.

В лесу в апреле-мае цветут первоцветы (ветренички, хохлатки, подснежники), вслед за которыми распускают свои цветки ранцветущие летние растения (чина весенняя, подмаренник душистый), ближе к середине лета зацветает сныть и т.д.

Разногодичная динамика экосистем. В результате изменений погоды в разные годы меняется биологическая продуктивность экосистем. Так, в пойменных лугах средней полосы в год, когда нет паводка и лето сухое, первичная биологическая продукция уменьшается в 10 раз, и соответственно снижается продукция гетеротрофов. Значительная часть видов в сухой год не развивается и переживает неблагоприятные условия в состоянии покоя.

Разногодичные изменения экосистем часто вызываются биотическими факторами. Так, экосистемы изменяются в результате циклической динамики популяций наиболее массовых видов. Например, дуб обильно плодоносит один раз в четыре года, и в год обильного плодоношения за счет улучшения кормовой базы массово размножаются виды животных, которые питаются желудями.

В тайге при выпадении отдельных деревьев (от старости, от ветровала или вредителей) возникают «окна». В «окнах» формируются «маленькие экосистемки» из рудеральных растений, семена которых сохранялись в почве и «ждали» удобного момента, чтобы прорасти. Вслед за рудеральными растениями в окнах разрастаются береза, ольха, или ивы. Эти растения-«няни» создают условия для восстановления основных древесных пород – ели и пихты. Продолжительность восстановительного цикла составляет 30-40 лет. В «окнах» соответственно меняется и фауна: появляются насекомые и другие организмы, которые связаны с растениями, залечивающими рану в лесной экосистеме.

Даже в самой устойчивой лесной экосистеме с древостоем старого возраста кабаны периодически разрывают поверхность почвы на участках площадью в десятки метров. После этого на порое несколько лет обильно растут рудеральные травы, но через 5-7 лет восстанавливаются обычные растения леса и их спутники из числа гетеротрофов.

Обратимые изменения лесной растительности, но с продолжительностью одного цикла около 100 лет, вызывают бобры (рис. 54). Они сооружают плотины и тем самым затопляют и подтопляют приречные территории. Однако за 10-20 лет бобры выедают все «вкусные» растения (в первую очередь ольху), которые служат им кормом, и переходят на другой отрезок речки. Плотины постепенно разрушаются, затопление и подтопление прекращаются, и со временем на этом месте восстанавливается та же экосистема, которая была до начала «мелиоративных работ», выполненных бобрами.

При всех обратимых изменениях, вызываемых абиотическими или биотическими факторами, протекающих в разном «биологическом времени» (от нескольких до десятков лет) и разном «биологическом пространстве» (от нескольких квадратных метров до десятков квадратных километров), состав экосистемы, который был до начала изменений, в основном восстанавливается.

Контрольные вопросы

1. Приведите пример суточных изменений экосистем.
2. В чем проявляются сезонные изменения экосистем?
3. Расскажите о разногодичных изменениях экосистем, вызываемых абиотическими и биотическими факторами.
4. Как вы понимаете «биологическое время» и биологическое пространство» в приложении к обратимым изменениям экосистем?

Справочный материал

В лесах вдоль рек пустынной зоны (они называются тугайными лесами, основные виды деревьев – туранговые тополя) во время дневного солнцепека листья деревьев поворачиваются ребром к падающему свету, что спасает их от ожогов, но увеличивает поступление солнечного света на поверхность почвы и заставляет насекомых прятаться, чтобы избежать перегрева.

В пустыне после дождей вся поверхность почвы покрывается яркой изумрудной зеленью растений-эфемеров, которые в состоянии семян ждали дождя, и после того, как долгожданная влага поступила в почву, успевают за 2-3 недели пройти весь жизненный цикл и дать семена, которые пополняют «почвенный банк». Эфемеры по типу стратегии относятся к «шакалам» (эксплерентам). Они массово развиваются потому, что при обилии влаги почти нет конкуренции с растущими редко многолетними пустынными растениями.

В степях Монголии один раз в 6-8 лет дает вспышки обилия мышевидный грызун полевка Брандта. В год массового размножения грызуны перерывают весь верхний слой почвы и выедают ковыли. В результате, из растревоженных грызунами корневищ востреца ложнопырейного массово появляются побеги, и степь становится не ковыльной, а вострецовой. Однако, поскольку грызуны съедают только листья, но не повреждают почки ковыля,

после спада численности грызунов (высокая плотность их популяции приводит к массовым заболеваниям) он начинает отрастать. К следующей вспышке численности полевки степь имеет привычный наряд из ковыля.

В годы массового развития непарного шелкопряда он поедает почти все листья деревьев, что резко улучшает освещенность напочвенного покрова. Кроме того, усвоение съеденной листовой массы гусеницами очень неполное, земля удобряется большим количеством экскрементов, что улучшает условия минерального питания растений напочвенного покрова, которые пышно разрастаются.