

*К 150-летию Научного учебного комплекса
«Энергомашиностроение»*

Техническая физика и энергомашиностроение



Редакционный совет

А.А. Александров (председатель), д-р техн. наук
А.А. Жердев (зам. председателя), д-р техн. наук
В.Л. Бондаренко, д-р техн. наук
А.Ю. Вараксин, д-р физ.-мат. наук, член-корреспондент РАН
К.Е. Демихов, д-р техн. наук
Ю.Г. Драгунов, д-р техн. наук, член-корреспондент РАН
В.И. Крылов, канд. техн. наук
М.К. Марахтанов, д-р техн. наук
В.А. Марков, д-р техн. наук
С.Е. Семёнов, канд. техн. наук
В.И. Хвесюк, д-р техн. наук
Д.А. Ягодников, д-р техн. наук

Экология

4-е издание, исправленное и дополненное



Москва

ИЗДАТЕЛЬСТВО
МГТУ им. Н. Э. Баумана

2018

УДК 574(075.8)

ББК 28.080

Э40

*Рекомендовано Редакционно-издательским советом
МГТУ им. Н.Э. Баумана в качестве учебного пособия*

Авторы:

А.А. Александров, М.Н. Корсак, С.А. Мошаров,
М.И. Кроленко, В.С. Спиридонов

Рецензент

д-р биол. наук, профессор, чл.-корр. РАН А.Л. Верещака;
чл.-корр. РАМН Е.Н. Беляев

Экология : учебное пособие / [А. А. Александров и др.]. —
Э40 4-е изд., испр. и доп. — Москва : Издательство МГТУ
им. Н. Э. Баумана, 2018. — 277, [3] с. : ил.

ISBN 978-5-7038-4820-3

Изложены основные законы общей экологии, закономерности действия экологических факторов, особенности функционирования биосферы и биогеохимические циклы биогенных элементов, важнейшие количественные характеристики популяций, сообществ; структура и закономерности функционирования экосистем, типы сукцессий. Описаны основные среды жизни, адаптации живых организмов к различным условиям жизни. Рассмотрены принципы экологического мониторинга и нормирования, влияние неблагоприятных экологических факторов на здоровье человека и экосистемы, глобальные экологические проблемы.

Пособие основано на материалах лекций, которые авторы читают в МГТУ им. Н.Э. Баумана.

Для студентов всех специальностей МГТУ им. Н.Э. Баумана, изучающих дисциплину «Экология».

УДК 574(075.8)

ББК 28.080

ISBN 978-5-7038-4820-3

© Оформление. Издательство
МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2018

Предисловие председателя Редакционного совета

Потребительский подход к природе, доминировавший в прошлом веке во всех странах, включая и Россию, привел в начале XXI в. к значительному ухудшению состояния окружающей среды и истощению природных ресурсов. Повсеместное загрязнение атмосферы, почвы, водоемов токсичными химическими веществами, глобальное изменение климата, загрязнение пищевых продуктов, исчезновение редких видов животных и растений, появление новых видов болезней заставило людей осознать необходимость самого широкого экологического образования.

Основная цель преподавания дисциплины «Экология» в МГТУ им. Н.Э. Баумана заключается в формировании у будущих бакалавров, магистров и специалистов разных профилей экологического мировоззрения, основанного на понимании ключевой роли человека в сохранении естественной природной среды для будущих поколений в условиях ускоряющегося технического прогресса.

Дисциплина «Экология», преподаваемая более 15 лет в МГТУ им. Н.Э. Баумана кафедрой «Экология и промышленная безопасность», содержит основы как фундаментальной, так и прикладной экологии — необходимую теоретическую базу для углубленного изучения различных дисциплин (например, безопасности жизнедеятельности и др.).

Большинство изданных в последние годы учебников и учебных пособий по дисциплине «Экология» для технических университетов посвящены либо прикладным аспектам экологии с очень кратким изложением основ фундаментальной экологии, либо, наоборот, слишком подробно и углубленно представляют всю совокупность знаний об окружающей среде и природных экосистемах.

В данном учебном пособии авторскому коллективу — преподавателям кафедры «Экология и промышленная безопасность» МГТУ им. Н.Э. Баумана, удалось обеспечить необходимый баланс между различными разделами фундаментальной и прикладной экологии, что очень важно для учебных заведений технического профиля.

Использование данного пособия в учебном процессе поможет студентам овладеть экологическим мировоззрением, рассматривать вопросы экологической безопасности и сохранения окружающей природной среды в качестве важнейших приоритетов в профессиональной деятельности.

Ректор МГТУ им. Н.Э. Баумана
д-р техн. наук, профессор

А.А. Александров

Предисловие

При рассмотрении экологических проблем необходимо разделять три базовых понятия: экология, охрана природы и природопользование. Понятие «экология» охватывает систему научных знаний о природной среде. Охрана природы включает как соответствующую законодательную деятельность, так и организационные и научно-технические мероприятия, обеспечивающие поддержание экологического равновесия и благоприятной среды обитания. Ключевым в понятии «природопользование» является устойчивое воспроизводство природных ресурсов и условий, необходимых для жизнедеятельности человека. Иначе говоря, оно относится к экономическим и технологическим аспектам взаимодействия человека и природы. Очевидно, что эффективность охраны природы и возможность устойчивого природопользования определяются уровнем фундаментальных знаний об экологических процессах, т. е. уровнем развития экологии.

Учебники и учебные пособия по экологии, которых насчитывается в России несколько десятков, можно условно разделить на две группы. Издания, относящиеся к первой из них, ориентированные на студентов биологических и медицинских специальностей, как правило, содержат курс экологии, рассчитанный на узких специалистов, которым предстоит профессионально заниматься определенными разделами экологии. Учебники и учебные пособия второй группы рассчитаны на студентов технических специальностей — будущих инженеров, призванных обеспечить технический прогресс и устойчивое функционирование современного индустриального общества. Не вдаваясь в особенности программ по экологии для этих двух категорий студентов, можно утверждать, что курс экологии в технических университетах должен содержать основы фундаментальной экологии — необходимую теоретическую базу для углубленного изучения более узких специальных дисциплин.

Инженерно-технические специалисты в силу специфики своей деятельности призваны создавать новые технологии и различные механизмы, воздействующие на окружающий мир, поэтому базовое экологическое образование для них крайне необходимо и должно быть ориентировано на формирование экологического мировоззрения, сохранение окружающей среды обитания на основе понимания основных закономерностей функционирования при-

родных экологических систем. Иными словами, учебное пособие для студентов технических университетов, в первую очередь, должно быть ориентировано на расширение их экологического кругозора и знакомство с основными понятиями и законами экологии, проблемами взаимодействия природы и цивилизации, вопросами негативного воздействия факторов окружающей среды на здоровье населения, принципами оценки состояния, охраны и мониторинга природной среды.

Большинство вышедших в последние годы учебников и учебных пособий по курсу «Экология» посвящено в основном прикладным аспектам экологии с очень кратким изложением основ общей экологии либо, наоборот, авторы пытаются слишком подробно представить всю совокупность знаний об окружающей среде и природных экосистемах. Не отрицая необходимости преподавания основ рационального природопользования и охраны природы, авторы стремились обеспечить баланс между разделами фундаментальной и прикладной экологии.

В гл. 1 пособия изложена история развития взаимоотношений человеческого общества и природы; на разных этапах развития рассмотрены основные черты адаптации хозяйственной деятельности человека к природным условиям на стадии охотничье-собирательской культуры; показаны последствия адаптации природных экосистем к системам хозяйства на стадии земледельческой культуры и рассмотрены современные формы человеческой деятельности, приводящие к преобразованию природных экосистем в глобальных масштабах (индустриальное общество).

В гл. 2 определены общие задачи экологии, рассмотрены основные фундаментальные и прикладные аспекты, отражающие широкий спектр научной и хозяйственной деятельности человека, изложены законы Коммонера.

Глава 3 содержит основные характеристики среды обитания живых организмов — биосферы, которая охватывает всю гидросферу, нижнюю часть атмосферы и верхний слой литосферы. Кратко изложены основные положения учения выдающегося русского ученого В.И. Вернадского о биосфере, в том числе о главенствующей роли живых организмов в формировании и поддержании современных физико-химических условий на Земле.

Рассмотрению экологических факторов¹ (условий окружающей среды), определяющих границы существования живых организмов в биосфере, посвящены гл. 4–7. Большое внимание уделено общим

¹ См. значения экологических терминов в словаре, приведенном в конце книги.

и специфическим закономерностям воздействия важнейших абиотических, биотических и антропогенных факторов на живые организмы. Рассмотрен общий характер воздействия экологических факторов на организмы (пределы толерантности); описаны особенности взаимовлияния организмов одного и разных видов (биотические факторы), специфика негативного воздействия различных антропогенных (физических, химических и биологических) факторов на здоровье населения.

Совокупность условий существования организмов значительно различается в разных средах жизни: водной, наземно-воздушной, почвенной и организменной (гл. 8–9). В каждой из этих сред рассмотрены специфические экологические факторы, в наибольшей степени определяющие условия жизни. Показано, что не только среда обитания влияет на условия жизни организмов, но и сами организмы формируют среду, активно участвуя во многих геохимических круговоротах химических элементов в биосфере.

В гл. 10 рассмотрены биогеохимические циклы основных биогенных (жизненно важных) элементов (углерода, азота, фосфора, серы) и участие живых организмов в круговоротах этих веществ. На большом фактическом материале показаны возможные экологические последствия нарушения сбалансированности круговорота веществ.

Основные количественные характеристики популяции (величина и плотность популяции, рождаемость, смертность, кривые выживания, биотический потенциал) рассмотрены в гл. 11; здесь же проанализированы различные экологические стратегии развития популяций в эволюции биоценозов и экосистем.

Основам структурно-функционального единства природных экосистем, биоценоза и биотопа посвящены гл. 12–13. Показано значение главных биоценологических компонентов экосистемы (автотрофов и гетеротрофов) и их участие в потоках энергии и круговороте веществ в экосистемах. Определены общие закономерности изменения основных интегральных структурных и функциональных показателей состояния экосистем в процессе их эволюционного развития в ходе автотрофных и гетеротрофных, первичных и вторичных сукцессий.

В гл. 14–15 освещены вопросы контроля качества и мониторинга природной среды, обоснована необходимость контроля и нормирования антропогенных воздействий на окружающую среду, введено понятие экологического мониторинга как информационной системы наблюдений, рассмотрены отдельные виды мониторинга (локальный, региональный, глобальный, фоновый).

Анализ глобальных экологических проблем современности: демографический кризис; урбанизация; загрязнение природной среды; эрозия почв и потеря ими плодородия; недостаток пресной воды; разрушение озонового слоя; антропогенное изменение климата (парниковый эффект); уменьшение биологического разнообразия; снижение устойчивости природных экосистем содержит гл. 16.

В гл. 17 рассмотрены основные характеристики городской экосистемы, выделены специфические экологические факторы, воздействующие на состояние этой экосистемы, а также на здоровье человека.

Изучение этого пособия позволит будущим специалистам инженерно-технического профиля создавать новые технологии и различного рода механизмы с учетом требований экологической безопасности, минимизируя негативное влияние промышленной деятельности на биосферу.

Учебное пособие соответствует программе дисциплины «Экология», разработанной на кафедре «Экология и промышленная безопасность» МГТУ им. Н.Э. Баумана, а также требованиям государственного образовательного стандарта. Пособие может служить базой для изучения специальных дисциплин в области промышленной экологической безопасности.

К каждой из 17 глав пособия даны контрольные вопросы и задания. Приведены список рекомендованной литературы и словарь основных экологических терминов.

Введение

Биосфера развивается по своим законам как единое целое. Масштабное воздействие человека на природные процессы в условиях ускорения научно-технического прогресса неизбежно приводит к возникновению экологических кризисов, определяемых сравнительно ограниченной способностью биосферы к самовосстановлению. Единственно возможный путь развития человечества связан с выходом на уровень научно обоснованной стратегии отношений «человек — общество — биосфера».

К началу XXI в. биосфера Земли подверглась воздействию неблагоприятных факторов эпохи глобального экологического кризиса, вызванного интенсификацией индустриального воздействия человечества на окружающую среду, что привело к истощению природных ресурсов и загрязнению биосферы техногенными отходами производства. В настоящее время ни у кого не вызывает сомнений необходимость самого широкого экологического образования населения, в первую очередь будущих молодых специалистов, призванных не только эксплуатировать природные ресурсы биосферы, но и сохранять окружающую среду в состоянии, обеспечивающем устойчивое развитие человеческого общества. Формирование экологического мировоззрения является необходимым условием преодоления нынешних и будущих кризисных ситуаций в природной среде и техносфере. Для этого нужно четко представлять основные закономерности формирования и поддержания природной среды в естественных и антропогенно измененных условиях, а также допустимые пределы воздействия на нее человеческого общества.

Цель экологического образования и воспитания — формирование у каждого человека на всех этапах его жизни экологического мировоззрения знаний, целостных представлений о биосфере, понимание органической взаимосвязи и единства человека и окружающей среды, роли природы в его жизни, необходимости охраны и рационального использования природных ресурсов.

Гармонизация взаимоотношений человека и природы важна для выживания человека как биологического вида. Экологически обоснованные технологические решения являются в то же время и социально значимыми, поскольку сам человек, будучи частью природы, существовать без нее не может.

Преподавание дисциплины «Экология» в высших учебных заведениях технического профиля — методически сложная задача, поскольку курс должен сформировать четкое и целостное представление о структуре и функционировании экосистем и биосферы в целом у студентов, не имеющих, как правило, достаточных базовых знаний в области естественных наук. Поэтому пособие содержит основные положения экологии в сочетании с наиболее существенными понятиями биологии, биогеохимии, географии, климатологии, океанологии и т. д.

Авторы пособия — преподаватели кафедры «Экология и промышленная безопасность» МГТУ им. Н.Э. Баумана, имеют большой опыт экологических исследований и технологических разработок, который позволил им изложить фундаментальные основы экологии на современном уровне. При подготовке пособия особенно полезными были книги американского эколога Ю. Одума² и российского ученого А.С. Степановских³.

² Одум Ю. Экология: в 2 т. / пер. с англ. М.: Мир, 1986.

³ Степановских А.С. Общая экология. М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2001.

1. Взаимоотношения человека и природы (исторический аспект)

Для того чтобы лучше понять современные проблемы взаимоотношений людей и окружающей среды, целесообразно проследить, как они складывались на разных этапах развития человеческого общества.

Каждая общественная система в историческом аспекте строится на каком-либо основании, которое считается главным. Например, это могут быть производственные отношения, уровень производительных сил и т. д. Рассматривая взаимоотношения человека и природы при изучении курса экологии, необходимо выделить следующие исторические этапы.

Непосредственное единство человека с природой (охотничье-собираТЕЛЬская культура). На этом этапе формируется трудовая деятельность человека (изготовление орудий труда из природных тел как первый способ целенаправленного преобразования окружающей среды). В процессе совершенствования орудий труда и развития общественных форм жизни происходит переход к охоте.

Неолитическая революция (аграрная культура) — переход к скотоводческо-земледельческому хозяйству (выращивание сельскохозяйственных культур и одомашнивание животных).

Промышленная революция — утверждение индустриального производства как главенствующего и развитие техники как эффективного средства преобразования природы.

Переход к главенству производства информации и, в далекой перспективе, возможная гармонизация взаимоотношений человека и природы в постиндустриальном обществе в процессе создания экологической цивилизации.

Охотничье-собираТЕЛЬская культура. Вид *Homo sapiens* (человек разумный) сформировался примерно 200 тыс. лет назад. Около 10–15 тыс. лет назад человечество расселилось по всему современному ареалу его обитания. Общая численность населения Земли к началу мезолита (около 10 тыс. лет назад) составляла 3–5 млн чел., а средняя плотность населения — 0,05 чел./км².

Ограниченная численность живущих на планете людей позволяла им удовлетворять свои жизненные потребности, не изменяя существенно образом природу. Основу жизни человеческого

Один из путей решения общепланетарных экологических проблем — реализация стратегии *устойчивого развития*, провозглашенной на Конференции ООН по окружающей среде и развитию (1992 г.), в которой приняли участие главы 114 государств.

Устойчивое развитие — это такое развитие, которое позволяет удовлетворять потребности живущих поколений, но не ставит под угрозу возможность будущих поколений удовлетворять их.

В основе концепции устойчивого развития лежит положение о том, что только в мире со здоровой социально-экономической средой может быть здоровая окружающая среда. В основном документе конференции («Повестка дня на XXI век») рассматривается широкий круг задач, решение которых должно обеспечить такое развитие человеческого общества на перспективу. Это и экологические задачи (предотвращение изменения климата, обеспечение пресной водой, борьба с опустыниванием, сохранение лесов, сохранение биологического разнообразия, экологическое образование и т. д.), и задачи, прямо или косвенно связанные с решением экологических проблем (разработка и внедрение соответствующих промышленных и сельскохозяйственных технологий, борьба с бедностью, изменение структуры потребления и т. д.).

Контрольные вопросы

1. Какие этапы выделяются в истории взаимоотношений человека и природы?
2. Что такое «экологический кризис»?
3. Охарактеризуйте основные экологические последствия деятельности земледельцев и скотоводов эпохи неолита.
4. Почему развитие аграрной цивилизации привело к первому в истории антропогенному экологическому кризису? В чем он выразился?
5. На каком этапе развития общества антропогенное влияние на круговорот веществ становится необратимым?
6. Какой фактор обострения экологической ситуации становится главным в индустриальном обществе?
7. Дайте определение техносферы.
8. В чем суть стратегии устойчивого развития?

2. Экология как наука

Слово «экология» происходит от греч. *oikos* — дом, убежище, местообитание и греч. *logos* — наука.

Экология — наука, изучающая условия существования живых организмов и взаимосвязи между организмами и средой, в которой они обитают.

Объектом исследований в экологии являются экологические системы (экосистемы), включающие взаимосвязанные и взаимодействующие компоненты: живые организмы, продукты их жизнедеятельности, объекты окружающей среды. Для того чтобы понять, как функционируют экологические системы, какие существуют взаимосвязи между отдельными группами организмов и факторами окружающей среды в настоящее время, используют специальную научную методологию. Речь идет о системном анализе как базовом методе в экологии, основанном на исследовании связей между элементами экосистем. *Под системой в данном случае понимается вся совокупность элементов, находящихся в разнообразных взаимоотношениях друг с другом и образующих определенную целостность, т. е. структурно-функциональное единство.*

К 30-м годам XX в. изучение живых систем, сообществ организмов, отдельных организмов и их частей позволило ученым сформулировать ключевые принципы системного мышления. Первый и наиболее общий принцип системного мышления заключается в переходе от изучения частей к изучению связей, объединяющих отдельные части в единое целое.

Для системного подхода чрезвычайно важны не только сами объекты исследований, но и сложнейшие сети взаимоотношений между ними, создающие целое (систему). В результате существования подобных взаимоотношений целое всегда больше суммы его частей.

Предметом экологии является структура связей между элементами экосистем — живыми организмами разного уровня организации (отдельные организмы, популяции, сообщества) — и средой их обитания.

Живые организмы обладают рядом признаков, которые отсутствуют у неживых систем:

- *единство химического состава* — 98 % химического состава приходится на углерод, кислород, азот и водород;

полихлорированные бифенилы, — в печени рыб, обитающих в самых чистых районах Мирового океана.

II. Все должно куда-то деваться. Этот закон вытекает из закона сохранения материи и позволяет по-новому взглянуть на проблему образования отходов. Извлечение огромных количеств веществ из недр сопровождается, как правило, десятикратным загрязнением окружающей среды. Так, в ходе получения 1 т металла образуется 10 т отходов пустой породы.

III. Природа знает лучше. Существующие природные экосистемы не следует изменять в целях их улучшения (поворачивать реки вспять, создавать новые моря в пустынях и т. д.), поскольку это может привести только к нарушению исторически сложившихся связей в экосистемах и общему ухудшению экологической ситуации.

IV. Ничто не дается даром (за все надо платить). Этот закон объединяет предыдущие три закона. Самое опасное, что, воздействуя на процессы функционирования природных экосистем, человек далеко не всегда может предвидеть результаты этого воздействия. Так, использование современных антиэкологических биотехнологий в животноводстве (скармливание коровам в виде костной муки отходов со скотобоен) привело к возникновению неизвестных ранее *прионных болезней* (болезней бешенства коров) — принципиально нового типа заболеваний, вызванного патогенными белками.

Контрольные вопросы

1. Что изучает наука экология и как она связана с охраной природы?
2. Назовите основные задачи экологии.
3. В чем познавательное и прикладное значение экологии?
4. Охарактеризуйте законы Коммонера и сформулируйте их основное содержание.

3. Структура биосферы

Каждая наука имеет свою область изучения. Для экологии это *биосфера* — сфера жизни, т. е. часть планеты, которая включает совокупность живых существ и в которой возможна жизнь.

Понятие биосферы было введено австрийским ученым Э. Зюссом в 1875 г. Стройное учение о биосфере было создано выдающимся русским ученым В.И. Вернадским. Основы этого учения были изложены в 1926 г. в книге «Биосфера», где рассмотрены свойства «живого вещества» и его функции в формировании современного облика Земли. В составе биосферы В.И. Вернадский выделил четыре основных типа разных, но взаимосвязанных веществ:

- *косное вещество* — геологические образования, не созданные живыми организмами;
- *живое вещество* — вся совокупность биологической массы живых организмов на Земле;
- *биокосное вещество* — комплексы тесно взаимодействующих элементов живого и косного вещества, например почва;
- *биогенное вещество* — геологические породы, созданные в результате жизнедеятельности живых существ (известняки, песчаники, железные руды, каменный уголь, нефть и т. п.).

Таким образом, по В.И. Вернадскому, биосфера представляет собой одну из геологических оболочек Земли, в которой происходит взаимодействие живого и косного вещества планеты.

Биосфера включает в себя нижнюю часть *атмосферы*, всю *гидросферу* и верхнюю часть *литосферы*.

Обычно Землю называют шаром. Однако в действительности вследствие действия центробежных сил, возникающих при ее вращении вокруг своей полярной оси, наша планета несколько растянута в экваториальной плоскости и имеет форму, близкую к эллипсоиду вращения. Поэтому экваториальный диаметр Земли больше ее полярного диаметра на 42,77 км. Кроме того, результаты спутниковых измерений показали, что этот эллипсоид несколько деформирован в направлении полярной оси и Южный полюс на 30 м ближе к центру Земли, чем Северный. Такой деформированный эллипсоид стали рассматривать как некую индивидуальную геометрическую фигуру, получившую название *геоида*. В связи

ского развития Земли. Следует иметь в виду, что в глобальном историческом масштабе процессы образования органического вещества в ходе фотосинтеза и окисление органического вещества в процессах дыхания до углекислого газа и воды на Земле не были сбалансированы.

В течение 1 млрд лет скорость образования (продукция) органического вещества на Земле превышала его распад, при этом небольшая часть созданного органического вещества не расходовалась на дыхание и не разлагалась, а сохранялась в геологических осадках. Полагают, что такое преобладание органического синтеза над дыханием и явилось основной причиной уменьшения содержания углекислого газа в атмосфере и накопления в ней кислорода, концентрация которого в настоящее время весьма высока. Все это сделало возможным существование и эволюцию высших форм жизни на Земле.

Контрольные вопросы

1. Что входит в понятие биосферы согласно учению В.И. Вернадского?
2. Что входит в понятие основных частей биосферы. Каковы их основные характеристики?
3. В чем заключается закон биогенной миграции атомов?
4. Какую роль играют живые организмы в регуляции современной геохимической среды в биосфере Земли?

4. Экологические факторы среды

Условия окружающей среды определяют границы существования живых организмов в биосфере. Любой организм в среде своего обитания подвергается воздействию самых разнообразных факторов: химических, физических, биотических и пр.

Под экологическим фактором понимают любой элемент или свойство среды, способное оказывать прямое или косвенное влияние на живые организмы.

Для разных видов растений и животных условия, в которых они могут существовать, неодинаковы. Например, некоторые растения предпочитают очень влажную почву, другие — относительно сухую. Приспособление организмов к среде называется *адаптацией*. Способность к адаптации — одно из основных свойств живых организмов, обеспечивающих саму возможность их существования, выживания и размножения. Адаптации проявляются на разных уровнях организации живой материи — от молекулярно-биохимического и клеточного до популяционно-видового и биоценотического. Все приспособления различных организмов к существованию в конкретных условиях среды обитания выработались в процессе эволюции. В результате для каждой биогеографической зоны сформировались специфические комплексы растений и животных.

Существует несколько классификаций экологических факторов. Чаще всего экологические факторы подразделяют на следующие группы:

- *абиотические* (факторы неживой природы, или физико-химические факторы) — комплекс условий неорганической среды, влияющих на организм. К ним относятся химические, физические, климатические, атмосферные, почвенные (эдафические), геоморфологические, гидрологические, геофизические и другие параметры среды;

- *биотические* (факторы живой природы) — влияние одних организмов или их сообществ на другие;

- *антропогенные* — факторы, обусловленные человеческой деятельностью. Среди них выделяют *антропогенные факторы прямого действия* (например, изъятие биомассы при добыче морепродуктов, охоте и вырубке лесов, изменение кормовых угодий, мелиорация, осушение болот и пр.) и *антропогенные*, или *антропотехногенные*, или

занимать в отсутствие врагов и конкурентов. В условиях существования в сообществе каждый организм занимает более узкую нишу, которая называется *реализованной* (фактической) нишей.

Понятие экологической ниши оказывается наиболее полезным для количественных оценок различий между видами по одному или немногим основным параметрам, характеризующим устойчивость организмов к основным факторам среды. Для характеристики ниши чаще всего используются два измерения — ее ширина и область пересечения ниши с соседними (перекрывание ниш). Ниша перекрывается тогда, когда два организма используют одни и те же ресурсы (рис. 4.4). Очевидно, что в том диапазоне значений фактора (например, пищевого ресурса), где ниши конкурирующих видов перекрываются, между ними будет происходить конкурентная борьба, и чем больше перекрываются ниши, тем сильнее конкуренция.

Контрольные вопросы

1. Дайте определение экологического фактора.
2. Назовите основные типы экологических факторов.
3. Каковы общие закономерности действия любых факторов?
4. Чем определяется экологическая пластичность видов?
5. Что такое стенобионтность и эврибионтность?
6. В каком случае факторы среды становятся лимитирующими? Что они лимитируют?
7. Могут ли разные факторы изменять действие друг друга?
8. Что представляет собой экологическая ниша?

5. Абиотические факторы среды

Основными (экологически важными) факторами среды, определяющими условия существования живых организмов в биосфере, являются свет, температура, влажность, давление, гравитационное и магнитное поля, а также состав, физико-химические свойства и подвижность самой среды. Все эти факторы могут быть как лимитирующими — ограничивающими развитие, так и регулирующими жизнедеятельность организмов и оказывающими на них благотворное влияние. Живые организмы не только приспосабливаются к физическим факторам среды обитания, т. е. переносят их воздействие, но и используют естественную периодичность изменений этих факторов для распределения своих функций во времени.

Солнечная радиация. Излучение Солнца является основным источником энергии в биосфере Земли, определяющим температурный режим планеты. При *солнечной постоянной Земли* $B_3 \approx 1,39 \text{ кВт/м}^2$ и ее альбедо $A = 0,35$ суммарная мощность солнечной радиации у поверхности нашей планеты составляет около $1,15 \cdot 10^5 \text{ ТВт}$. Для сравнения, современное мировое энергопотребление человечества за год составляет около 10 ТВт , что примерно в 10^4 раз меньше мощности солнечной радиации. Благодаря сферической форме Земли и ее вращению вокруг Солнца и вокруг своей наклоненной к плоскости орбиты оси плотность потока солнечной радиации на поверхности нашей планеты различна и, согласно формуле (3.5), меняется в зависимости от географической широты местности, сезона года и времени суток. Например, в арктической зоне поверхностью Земли воспринимается около $60,6 \cdot 10^7 \text{ Дж/м}^2$ в год солнечной радиации, а в умеренных широтах — $344 \cdot 10^7 \text{ Дж/м}^2$ в год. Обычно в расчетах используют среднее значение плотности потока солнечной радиации, отнесенной ко всей поверхности земного шара, равное 225 Вт/м^2 . Тепловой режим различных участков поверхности Земли зависит также и от ее отражательной способности. Так, чистый снег отражает 80...95 % падающей солнечной радиации, загрязненный снег — 40...50 %, чернозем — 5 %, сухая светлая почва — 35...45 %, хвойные леса — 10...15 %.

Излучение Солнца, поступающее на Землю, сосредоточено в ультрафиолетовом, видимом и инфракрасном диапазонах электромагнитного спектра (см. рис. 3.2). Распределение энергии солнечного излучения по трем областям электромагнитного спектра при-

ментов, возникают болезни, называемые *микроэлементозами*. Например, при недостатке или при избытке фтора у населения возникают болезни зубов — кариесы и флюорозы соответственно, при недостатке йода — болезни щитовидной железы.

Контрольные вопросы

1. Почему свет, температура и влажность считаются основными абиотическими факторами среды для наземных организмов?
2. Какие факторы среды часто являются лимитирующими в наземных экосистемах, а какие — в водной среде?
3. Что такое ФАР? В какой области солнечного спектра находятся максимумы поглощения хлорофилла «а»?
4. Что такое фотосинтез? Что образуется в световую и темновую стадии?
5. Приведите примеры аномальных свойств воды. Какова роль воды в биологических процессах?
6. В чем различия между микроэлементами и макроэлементами?

6. Биотические факторы.

Формы биологических отношений в сообществах

Все виды живых организмов, обитающих в природе, не могут существовать сами по себе без живого окружения — *биотической среды*, с которой они вступают в разнообразные взаимоотношения как с отрицательными, так и положительными для себя последствиями. Каждый биологический вид способен жить только в той биотической среде, где существующие связи с другими организмами обеспечивают ему нормальные условия жизни.

В отличие от абиотических факторов, охватывающих всевозможные взаимоотношения с неживой природой, *биотические факторы* — это совокупность влияний жизнедеятельности одних организмов на другие.

Среди биотических обычно выделяют группы факторов, обусловленных влиянием:

- животных организмов — *зоогенные факторы*;
- растительных организмов — *фитогенные факторы*;
- человека — *антропогенные факторы*.

Воздействие биотических факторов можно рассматривать как на отдельные организмы, биологические сообщества, так и на среду их обитания.

Первоначально экологические исследования воздействия биотических факторов на организмы носили, как правило, прикладной характер: велись в целях борьбы с вредителями, паразитами, для выявления источников пищи животных, понимания роли хищничества. В настоящее время изучение влияния биотических факторов на организмы приняло широкие масштабы и проводится как в лабораторных, так и в природных условиях.

В современной классификации взаимодействий между различными организмами выделяют два типа реакций: *гомотипиские* и *гетеротипиские*.

Гомотипиские реакции — взаимодействия между особями одного вида.

Жизнедеятельность всех видов животных и растений в большой степени зависит от численности популяции. В связи с этим большое экологическое значение имеют групповой и массовый эффекты, а также внутривидовая конкуренция.

Значительный путь взаимного влияния растений — это взаимодействие *через химические выделения*. Растения выделяют в окружающую среду (воздух, воду, почву) разнообразные химические вещества, которые оказывают на организмы либо токсичное, либо стимулирующее действие. Такие химические взаимовлияния получили название *аллелопатии*. В качестве примера *аллелопатии* можно назвать влияние корневых выделений пырея и коостреца на растущие вблизи с ними другие травянистые растения и даже деревья. Многие грибы и бактерии синтезируют антибиотики, которые тормозят рост других бактерий.

У разных видов растений степень воздействия на среду обитания неодинакова. Растения, наиболее активно и глубоко преобразующие среду и определяющие условия существования для других видов, называют *эдификаторами*. Различают сильные и слабые эдификаторы. К сильным эдификаторам относят ель (сильное затенение, обеднение почв питательными веществами и др.), сфагновые мхи (задержание влаги и создание избыточного увлажнения, увеличение кислотности, особый температурный режим и т. д.). Слабыми эдификаторами являются лиственные породы с ажурной кроной (береза, ясень), растения травянистого покрова лесов.

В качестве особой формы взаимоотношений растений выделяют *конкуренцию*. Сильное влияние на жизнь растений оказывает конкуренция за почвенную влагу (особенно четко выражена в областях с недостаточным увлажнением) и конкуренция за питательные вещества почвы, более заметная на бедных почвах. Межвидовая конкуренция проявляется у растений так же, как и внутривидовая (морфологические изменения, снижение плодовитости, численности и т. д.). Доминирующий вид постепенно вытесняет другой вид или сильно снижает его жизнеспособность.

Контрольные вопросы

1. Что такое биотические факторы и на какие группы они подразделяются?
2. Какие виды гомотипических взаимодействий вы знаете?
3. Перечислите основные типы гетеротипических взаимодействий (факторов).
4. Приведите примеры симбиотических взаимоотношений.
5. В чем сущность закона Гаузе?
6. Приведите примеры фитогенных факторов.

7. Антропогенные факторы

Антропогенные факторы — это прямые или косвенные воздействия человеческой деятельности на природную среду, вызывающие изменения природных экосистем и здоровья населения.

Выделяют антропогенные факторы *прямого действия*, связанные с непосредственным воздействием человека на окружающую природную среду при охоте, вырубке лесов, мелиорации и других видах деятельности, и *антропотехногенные*, или факторы косвенного влияния, действие которых проявляется в процессе урбанизации территорий, промышленного производства и загрязнения отходами окружающей среды.

На протяжении веков в процессе своей деятельности человек существенно преобразовал естественные природные комплексы на значительных территориях, изменил условия жизни и способствовал расширению ареалов многих видов растений и животных.

С периода собирательства до эпохи научно-технического прогресса и демографического взрыва негативное влияние антропогенных факторов на биосферу постоянно усиливалось. Можно привести следующие примеры негативных антропогенных воздействий на природные экосистемы:

- *хищническое уничтожение целого ряда видов животных и растений* (мамонтов и туров в Европе, бизонов в Северной Америке, птиц эпиорнис и моа на Мадагаскаре и в Новой Зеландии, стеллеровой коровы в Беринговом море и т. д.);

- *загрязнение промышленными отходами производства и токсическими веществами окружающей среды* — атмосферы, гидросферы и литосферы;

- *нарушение круговоротов веществ в биосфере* (в первую очередь значительные изменения в глобальном биогеохимическом цикле углерода в биосфере);

- *нарушение функционирования многих природных биоценозов* (например, исчезновение Аральского моря как экосистемы);

- *создание новых видов организмов* (вирусов и бактерий, генетически модифицированных видов животных и растений).

Важным обстоятельством, сопутствующим загрязнению природной среды антропотехногенными токсическими химическими веществами, является *эффект биоаккумуляции* — увеличения кон-

через мясные продукты, связана с искаженной вторичной структурой молекулы белка. При попадании в организм человека патогенных прионов протекает медленная цепная реакция, в ходе которой патогенность одной молекулы передается нормально функционирующим молекулам белков-прионов. В течение этого периода (до 10 лет) болезнь протекает в скрытой форме, после чего проявляется в открытой форме, и организм погибает.

Большую потенциальную опасность для нынешнего и будущих поколений представляет также использование в качестве продуктов питания недостаточно изученных и не проверенных в длительных лабораторных исследованиях *трансгенных (генетически модифицированных) организмов*.

Уже появились первые тревожные сведения о губительном воздействии пыльцы трансгенных растений на отдельные виды насекомых, о возможности спонтанной (непредсказуемой) мутации почвенной сапрофитной микрофлоры полей, на которых выращиваются генетически модифицированные растения. Поэтому, несмотря на большую экономическую эффективность производства генетически модифицированных белков, надо проявлять большую осторожность при их переработке и использовании в пищу.

Контрольные вопросы

1. Назовите существующие виды антропогенного воздействия.
2. В чем специфика воздействия антропогенных факторов на разных структурных уровнях организации жизни?
3. Назовите приоритетные химические антропогенные факторы.
4. Какие критерии опасности химических веществ вы знаете?
5. Какие процессы происходят в экосистеме при воздействии на нее внешних неблагоприятных антропогенных факторов?
6. Что такое болезнь с экологической точки зрения?
7. Перечислите антропогенные факторы, влияющие на здоровье людей.
8. В чем опасность воздействия на здоровье человека патогенных прионов и генетически модифицированных организмов?

8. Гидросфера как среда жизни

Живые организмы в ходе длительного исторического развития освоили четыре среды жизни, которые объединяют все разнообразие существующих на Земле условий: *водную, наземно-воздушную, почвенную, организменную.*

Под средой жизни понимают часть природной среды, которая окружает организмы и оказывает прямое или косвенное воздействие на их состояние, развитие, выживание и размножение.

Из среды особи получают все необходимое для своего существования и в нее же выделяют продукты своего метаболизма. Каждой из упомянутых сред жизни присущ определенный, отличный от других сред комплекс условий (экологических факторов). Одни факторы, всегда для данной среды жизни присутствующие в избытке, являются средообразующими и обуславливают свойство сред. Другие факторы могут периодически принимать минимальные значения и ограничивать возможность существования организмов на какой-либо территории.

Первоначально жизнь на нашей планете зародилась в водной среде — *гидросфере*. В дальнейшем в результате образования озонового слоя в атмосфере Земли, значительно снизившего уровень ультрафиолетового излучения у ее поверхности, живые организмы начали заселять и наземно-воздушную среду. Появились наземные растения и животные, которые в процессе эволюции приспособились к новым условиям жизни.

Важнейшее свойство гидросферы — единство всех видов природных вод (Мирового океана, вод суши, водяного пара в атмосфере, подземных вод), которое обеспечивается в процессе круговорота воды в природе. Движущими силами этого глобального процесса служат тепловая энергия Солнца, поступающая на поверхность Земли, и сила тяжести. За счет энергии солнечного излучения происходят испарение воды с поверхности Мирового океана и подъем влажного теплого воздуха в зону конденсации, где из капель воды образуются дождевые облака, а под действием силы тяжести происходит возвращение сконденсировавшейся влаги на поверхность планеты в виде осадков — *дождя* или *снега*.

Вода — один из важнейших экзогенных факторов, видоизменяющих земную поверхность. Объемная теплоемкость воды ($c =$

или уменьшают плавучесть, что позволяет удержаться на дне в быстро текущих водах.

Только в водной среде встречаются неподвижные, ведущие прикрепленный образ жизни животные: гидроида, коралловые полипы, морские лилии, двустворчатые моллюски и др. Для них характерны своеобразная форма тела, незначительная плавучесть и специальные приспособления для прикрепления к твердому основанию — ко дну, телу других организмов. Эти животные захватывают взвешенные в воде частицы, которые переносятся течениями.

Целый ряд гидробионтов обладает особым характером питания — это отцеживание или осаждение взвешенных в воде частиц органического происхождения, многочисленных мелких организмов. Такой способ питания (фильтрация) не требует больших затрат энергии на поиски добычи и характерен для двустворчатых моллюсков, планктонных рачков и др. Животные-фильтраторы играют важную роль в процессах биологического самоочищения водоемов.

Смена условий в водной среде вызывает и определенные адаптивные поведенческие реакции организмов. С изменением освещенности, температуры, солености, газового режима и других факторов связаны вертикальные (опускание вглубь, поднятие к поверхности) и горизонтальные (нерестовые, зимовальные и нагульные) миграции животных. В морях и океанах в вертикальных миграциях принимают участие миллионы тонн гидробионтов, а при горизонтальных миграциях водные животные могут преодолевать сотни и тысячи километров (например, угри, плывущие для размножения в Саргассово море).

На Земле существует много временных, неглубоких водоемов, возникающих после разлива рек, сильных дождей, таяния снега и т. д. Общей для обитателей таких водоемов является способность давать за короткие сроки многочисленное потомство и переносить длительные периоды без воды, переходя в состояние пониженной жизнедеятельности — *гипобиоза*.

Контрольные вопросы

1. В чем заключается особенность гидросферы как среды жизни?
2. Что представляют собой организмы планктона, нектона и бентоса?

3. Каковы особенности адаптации планктонных и донных организмов к водной среде?
4. Какие районы Мирового океана наиболее продуктивны? Что такое апвеллинг?
5. Какие экологические факторы наиболее важны для организмов, обитающих в гидросфере?
6. С чем связана экологическая зональность водоемов?
7. Что такое бенталь, пелагиаль, литораль, континентальный шельф?
8. Какое явление получило название хроматической адаптации?
9. Что такое осмос и осмотическое давление?

9. Наземно-воздушная, почвенная и организменная среды жизни

Наземно-воздушная среда жизни — самая сложная по разнообразию экологических условий и их распределению в пространстве. Для наземно-воздушной среды характерны: большие колебания температуры (годовые амплитуды до 100 °С), высокая подвижность атмосферы, разнообразные режимы влажности. Лимитирующими факторами в этой среде чаще всего являются недостаток или избыток тепла и влаги (табл. 9.1). В отдельных случаях, например под пологом леса, существование жизни ограничивается недостатком света.

Большие колебания температуры во времени и пространстве, а также хорошая обеспеченность кислородом обусловили появление организмов с постоянной температурой тела (теплокровных). Для поддержания стабильности внутренней среды теплокровных организмов, населяющих наземно-воздушную среду (*наземные организмы*), требуются повышенные энергетические затраты.

Таблица 9.1

Основные экологические факторы, играющие лимитирующую роль в наземно-воздушной и водной средах

Экологический фактор	Наземно-воздушная среда	Водная среда
Вода	Часто в дефиците	Всегда в избытке
Плотность среды	Низкие значения	Высокие значения
Давление	Низкие значения (с незначительными колебаниями)	Сильно варьирует (возрастает с увеличением глубины и может достигать 1000 атм)
Температура	Сильно варьирует (от –80 до +100 °С и более)	Варирует в меньшей степени, чем в наземно-воздушной среде (от –2 до +40 °С)
Кислород	Часто в избытке	Часто в дефиците
Углекислый газ	То же	То же

И с т о ч н и к: Степановских А.С. Общая экология. М.: ЮНИТИ–ДАНА, 2001.

путь сохранения вида в таких условиях — формирование большого числа зачатков в виде долго сохраняющихся спор.

Большой круг *эндопаразитов* обитает не внутри, а на поверхности тела хозяина, например кровососущие насекомые. Хозяин в этом случае выступает лишь как часть внешней среды паразита, снабжая его пищей, предоставляя убежище, трансформируя микроклимат. Связь эктопаразита с хозяином может быть постоянной или временной. Для постоянных или длительно связанных с хозяином эктопаразитов одна из основных жизненно важных экологических задач — удержаться на теле хозяина. В связи с этим типичные эктопаразиты обычно характеризуются наличием мощных органов прикрепления — присосок, крючьев, коготков и т. п., которые независимыми путями развиваются у самых разных по происхождению видов.

Контрольные вопросы

1. В чем заключается особенность наземно-воздушной среды как экологического пространства?
2. Какие существуют приспособления организмов к жизни на суше?
3. Какие экологические факторы наиболее значимы для наземных организмов?
4. Каковы особенности почвенной среды обитания?
5. В чем заключается особенность организменной среды обитания?
6. В чем состоит отличие внутриклеточных паразитов от внутриклеточных симбионтов?

10. Биогеохимические циклы

Живое вещество — наиболее активный компонент, принимающий участие во многих геохимических круговоротах химических элементов в биосфере. В процессе жизнедеятельности организмов различные химические элементы из биосферы избирательно поглощаются, накапливаются, трансформируются и выводятся во внешнюю среду. В результате таких многократно повторяющихся циклов все химические элементы входят то в состав органических веществ (живое вещество), то в состав неорганических веществ (неживое вещество).

Биогеохимические циклы (биогеохимические круговороты) — циклические процессы обмена веществ между различными компонентами биосферы, обусловленные жизнедеятельностью организмов.

Термин «биогеохимия» предложен русским ученым В.И. Вернадским и означает область науки об обмене веществ между живым и неживым веществом биосферы («био» относится к живым организмам, а «гео» — к горным породам, воздуху и воде). Геохимия изучает химический состав Земли и миграцию элементов между различными частями биосферы: литосферой, гидросферой и атмосферой.

Для нормального существования большинства экосистем и организмов, их населяющих, максимальное значение имеют круговороты таких элементов, как кислород, водород, углерод, азот, сера и фосфор, входящих в состав любого живого вещества.

В круговоротах любых химических элементов и веществ различают две части или два фонда:

1) *резервный фонд* — бо́льшая масса медленно движущихся в биогеохимическом цикле веществ;

2) *обменный (подвижный) фонд* — меньшая, но более активная масса вещества, для которого характерен быстрый обмен между живыми организмами и их непосредственным окружением.

В целом биогеохимические циклы обычно подразделяют на два основных типа: 1) круговорот газообразных веществ с резервным фондом в атмосфере или гидросфере (океане); 2) осадочный цикл с резервным фондом в земной коре. Резервные фонды в атмосфере и гидросфере легко доступны, поэтому такие круговороты относи-

изменение климатического режима Земли может привести и уже приводит к глобальному изменению климата.

В целом в биосфере в постоянном круговороте находится около 0,2 % мобильного запаса углерода. Углерод биомассы живых организмов обновляется за 12 лет, атмосферы — за 8 лет, что подтверждает высочайшую сбалансированность биогеохимического цикла углерода.

Контрольные вопросы

1. Что называется биогеохимическими циклами и как они связаны с экосистемами?
2. Охарактеризуйте понятия «резервный фонд» и «обменный фонд» в круговороте химических элементов.
3. Укажите блоки экосистем, через которые проходят биогеохимические циклы элементов.
4. В круговороте каких биогенных элементов ключевая роль принадлежит микроорганизмам? Назовите эти группы микроорганизмов.
5. Для каких элементов атмосфера является резервным фондом?

11. Экология популяций

Каждый биологический вид, существующий в природе, — это сложный комплекс внутривидовых групп организмов с однотипными чертами строения, физиологией и образом жизни. Такими внутривидовыми группами организмов являются популяции.

Популяция — группа организмов одного вида, способная поддерживать свою численность длительное время, занимающая определенное пространство и функционирующая как часть биотического сообщества экосистемы.

Биотическое сообщество представляет собой совокупность популяций организмов разных видов, функционирующих как целостная система в определенном физико-географическом пространстве среды обитания.

Приспособительные возможности у популяции значительно выше, чем у слагающих ее индивидов. Популяция как биологическая единица обладает определенной структурой и функциями.

Популяция обладает *биологическими свойствами*, присущими как популяции в целом, так и составляющим ее организмам, и *групповыми свойствами*, проявляющимися только в целой группе. К биологическим свойствам популяции относятся, в частности, рост и участие в круговороте веществ. В отличие от биологических групповые свойства: плотность, рождаемость, смертность, возрастная структура, распределение в пространстве, генетическая приспособленность и репродуктивная непрерывность (т. е. вероятность оставления потомков на протяжении длительного периода времени) — могут характеризовать только популяцию в целом.

Ниже представлены основные показатели популяции.

Плотность популяции — *это численность популяции, отнесенная к единице пространства.* Ее обычно измеряют и выражают числом организмов (численность популяции) или суммарной биомассой организмов (биомассой популяции) на единицу площади или объема, например 500 деревьев на 1 га, 5 млн микроводорослей на 1 м³ воды или 200 кг рыбы на 1 га поверхности водоема. Иногда бывает важно различать *удельную*, или *экологическую*, *плотность* (численность или биомассу на единицу обитаемого пространства, т. е. фактически доступного для организмов конкретной популяции) и *среднюю плотность* (величину популяции, отнесенную к единице пространства в географических пределах

K-виды медленно занимают новые территории, но, освоив их, хорошо приспосабливаются к новым условиям среды. Они обладают высокой конкурентоспособностью.

Эти две стратегии представляют собой два различных способа решения одной и той же стратегической задачи — длительного выживания вида.

Контрольные вопросы

1. Дайте определение популяции. Какая существует связь между популяциями и видами?
2. Назовите основные количественные характеристики популяции.
3. Что понимается под биотическим потенциалом? Почему он не полностью реализуется в природных условиях? Какие факторы ограничивают реализацию биотического потенциала?
4. Назовите основные типы роста популяции. В чем заключается их различие?
5. В чем состоит основное отличие и сходство двух типов экологических стратегий?

12. Структура и функции экосистем

Общие свойства систем. Центральное понятие в экологии — экосистема — отражает основополагающее представление этой науки о том, что природа функционирует как целостная система независимо от того, о какой среде идет речь: пресноводной, морской или наземной. Общая теория сложных систем, к которой относится и изучение интегральных свойств экосистем, начиналась с работ биолога Людвига фон Берталанфи в конце 40-х гг. XX в. В настоящее время системный подход к решению проблем, связанных с окружающей средой, приобретает все большую практическую значимость.

Под системой понимается упорядоченно взаимодействующие и взаимозависимые компоненты, образующие единое целое.

Целое — это определенное единство элементов, имеющее свою структуру. Понятие «структура» отражает расположение элементов и характер их взаимодействия.

Системы имеют следующие специфические свойства:

- изоляция;
- интеграция;
- целостность;
- стабильность;
- равновесие;
- управление;
- устойчивость (гомеостаз);
- эмерджентность.

Эмерджентность (от англ. *emergence* — появление) — универсальная характеристика сложных систем, в том числе экосистем, заключающаяся в том, что свойства системы как целого не являются простой суммой свойств слагающих ее частей или элементов. По мере объединения компонентов в более крупные функциональные единицы у последних возникают новые свойства, отсутствовавшие на предыдущем уровне (уровне компонентов). Такие качественно новые, эмерджентные, свойства системного уровня организации нельзя предсказать исходя из свойств компонентов, составляющих этот уровень или единицу.

Эмерджентные свойства систем возникают в результате взаимодействия компонентов, а не в результате изменения их природы.

случае свойства экосистемы определяются не только суммой свойств составляющих ее популяций разных организмов, но и общесистемными свойствами, возникающими при взаимодействии биотических компонентов. В сложных многовидовых биоценозах невозможно отдельно изучать каждый биологический компонент по отдельности. Например, в 1 см³ плодородной почвы обитает несколько миллиардов почвенных бактерий. Поэтому в таких природных системах на первое место по значимости выступают интегральные свойства экосистем — суммарная биомасса, продукция и деструкция на конкретных трофических уровнях. Без знания количественных закономерностей изменения интегральных показателей состояния экосистемы нельзя описать поведение всей системы во времени и прогнозировать ее развитие.

Контрольные вопросы

1. Какие виды систем вы знаете и чем они отличаются друг от друга?
2. Что такое эмерджентность и как она проявляется в сложных системах?
3. Что входит в понятие экосистемы? Какие бывают экосистемы?
4. Назовите основные структурные компоненты, входящие в состав любой полноценной экосистемы. Какую роль в экосистеме играют эти компоненты?
5. Что такое структура экосистемы пастбищного типа?
6. Что такое пищевая цепь и как она связана с трофической структурой экосистемы?
7. Охарактеризуйте механизмы гомеостаза экосистемы.
8. Что такое принцип Ле Шателье — Брауна и как он реализуется в экосистеме?

13. Развитие и эволюция экосистем (сукцессия)

Отдельные виды организмов не только сами приспосабливаются к экологической среде, но и в ходе своей совместной деятельности в экосистемах приспособливают геохимическую среду экосистемы к своим потребностям. Таким образом, сообщества организмов и среда их обитания развиваются как единое целое.

Развитие экосистемы, или экологическая сукцессия (от лат. *successio* — преемственность, наследование), — это *направленное и закономерное изменение во времени видовой структуры и биоценологических процессов в экосистеме*. В ходе сукцессии изменяется окружающая среда под действием сообщества живых организмов и ранее доминирующие виды заменяются другими. В отсутствие внешних нарушающих процессов сукцессия является направленным, закономерным и предсказуемым процессом изменения экосистемы в сторону большей стабильности и сбалансированности. Сукцессия контролируется сообществом несмотря на то, что физическая среда определяет характер и скорость изменений, а часто и ограничивает пределы развития. Если сукцессионные изменения определяются преимущественно внутренними взаимодействиями в экосистеме, то говорят об *аутогенной* (т. е. саморазвивающейся) *сукцессии*. Если же на процессы сукцессионных изменений регулярно воздействуют или контролируют их факторы окружающей среды (штормы, пожары и т. д.), то такую сукцессию называют *аллогенной* — развивающейся под действием внешних воздействий.

Процесс сукцессии начинается в результате изменений фундаментальных свойств среды обитания, происходящих под влиянием комплекса факторов. Такие факторы могут быть *естественными* (отступление ледников, наводнения, землетрясения, извержения вулканов, пожары) или *антропогенными* (расчистка лесных угодий, распахка участков степи, создание водохранилищ, загрязнение среды).

Обычно различают *первичные* и *вторичные, автотрофные* и *гетеротрофные, аутогенные* и *аллогенные* сукцессии.

Первичные сукцессии начинаются всякий раз, когда заселяются пустынные места обитания. Это могут быть голые скалы, остывшая вулканическая лава, песчаные дюны. Первыми, как пра-

ным и весьма желательным для человека свойством. Во имя нашего собственного благополучия большинство природных ландшафтов должно быть сохранено вместе с формировавшимися на протяжении веков биологическими сообществами.

Контрольные вопросы

1. Дайте определение экологической сукцессии. Какие бывают виды сукцессий?
2. В чем заключается отличие автотрофных сукцессий от гетеротрофных? Приведите примеры.
3. Приведите примеры первичных и вторичных сукцессий. Может ли гетеротрофная сукцессия быть первичной?
4. Что такое аллогенные и аутогенные сукцессии? Приведите примеры.
5. Какие изменения происходят в экосистемах в ходе сукцессионного развития?
6. Охарактеризуйте климаксную экосистему. Какой количественный показатель свидетельствует о наступлении экологического климакса?
7. Чему равна величина чистой первичной продукции климаксного биологического сообщества?

14. Нормирование качества окружающей среды

Нормирование антропогенных воздействий на окружающую среду. В настоящее время хозяйственная деятельность человека по своим масштабам стала соизмеримой с процессами, происходящими в биосфере. Совершенно очевидно, что человечество не может бесконтрольно продолжать загрязнять окружающую среду, поскольку возможности природных экосистем противостоять этим процессам не безграничны. В то же время темпы роста народонаселения в разных странах требуют дальнейшей интенсификации промышленного производства. Единственный путь выхода из сложившейся ситуации — установление рациональных, экологически приемлемых норм, обеспечивающих сохранение экосистем, и нормальное функционирование биосферы в целом. Рациональное отношение к биосфере не сводится только к охране природы. Оно включает и научно обоснованное использование природных ресурсов без ущерба для установившихся структурно-функциональных связей между составными частями экосистем и обеспечение их возобновления. Для того чтобы решить эти задачи, в настоящее время требуется всесторонняя регламентация, использование научно обоснованных количественных оценок состояния природной среды, а также контроль и законодательное регулирование антропогенной нагрузки на природные экосистемы.

Антропогенное воздействие является существенным фактором риска для здоровья человека и функционирования природных экосистем. В разных странах, в том числе и в России, приоритетными загрязнителями атмосферного воздуха, воды водоемов и почвы в настоящее время являются практически одни и те же вещества: тяжелые металлы, хлорированные и полиароматические углеводороды (ПАУ), диоксины. Находясь в окружающей среде даже на уровнях, не вызывающих выраженных токсических эффектов, эти созданные человеком загрязняющие вещества (ксенобиотики) оказывают хроническое действие, приводящее к снижению иммунитета и нарушению адаптации организма, в первую очередь у детей и людей с повышенной чувствительностью.

На рис. 14.1 приведены данные об ориентировочной численности населения, проживающего на территориях Российской Федерации с повышенным уровнем загрязнения атмосферного воздуха

Такое несоответствие усугубляется тем, что не более 10 % общего числа нормированных вредных веществ анализируется на уровне ПДК.

Не дает возможности получать адекватную оценку состояния водных экосистем и использование методов биотестирования — экспериментальное определение токсичности воды для гидробионтов, основанное на регистрации реакций тест-объектов. Возможность экстраполяции результатов экспериментов по биотестированию, полученных в условиях, близких к природным, на естественные водоемы крайне ограничена, так как при разработке и стандартизации методик биотестирования невозможно учесть все особенности жизнедеятельности организма в природной среде.

Таким образом, существующая система государственного контроля, основанная на дифференцированном определении концентрации отдельных контролируемых вредных веществ в разных средах, как и методы биотестирования, не может дать адекватной оценки состояния экосистем. Это происходит потому, что на водные экосистемы помимо химического загрязнения негативное влияние оказывают многие другие антропогенные факторы, например тепловое и биологическое загрязнения. Все это обуславливает необходимость дальнейшей концептуальной разработки новых экспериментальных методов, подходов и стандартов, обеспечивающих возможность адекватной научно обоснованной оценки состояния природных экосистем и отдельных их компонентов.

Контрольные вопросы

1. Чем вызвана необходимость нормирования антропогенного воздействия на природную среду?
2. Какими параметрами определяется вредность загрязняющих веществ?
3. Назовите основные отличия систем экологического и санитарно-гигиенического нормирования качества компонентов окружающей среды.
4. Дайте определение ПДК. Какие виды ПДК используются для нормирования качества атмосферного воздуха и воды?
5. Чем объясняется малоэффективность экологического контроля по нормативам ПДК?

15. Мониторинг окружающей среды

Первым необходимым этапом на пути решения современных экологических проблем должно быть создание системы получения (сбора) надежной информации о состоянии окружающей природной среды. В конце 1960-х гг. многие страны осознали необходимость координации усилий в развитии этого направления. В 1972 г. в Стокгольме на Международной конференции по охране окружающей среды под эгидой ООН было принято решение о создании комплексной системы мониторинга (наблюдений) за качеством атмосферного воздуха, воды и почвы с целью оценки и прогноза изменений состояния окружающей среды под влиянием антропогенных факторов.

Под мониторингом окружающей природной среды понимают долгосрочные наблюдения за состоянием окружающей природной среды, ее загрязнением и происходящими в ней явлениями, а также оценку и прогноз состояния природной среды и ее загрязнения.

В последние десятилетия в разных странах все шире используются сведения о состоянии окружающей природной среды. Эта информация нужна в повседневной жизни людей, при ведении хозяйства, в строительстве, при чрезвычайных ситуациях (для оповещения о надвигающихся опасных явлениях природы). Но изменения в состоянии окружающей среды происходят и под воздействием биосферных процессов, связанных с деятельностью человека. Необходимость в глобальном мониторинге биосферы в целом и отдельных ее частей непрерывно возрастает и потому, что за последние 10 лет в мире синтезировано более 4 млн новых химических соединений, ежегодно производится около 30 тыс. видов химических веществ в количестве более 1 т в год каждое.

Экологический мониторинг можно рассматривать как информационную систему наблюдений, оценки и прогноза изменений в состоянии окружающей среды, созданную с целью выделения антропогенной составляющей этих изменений на фоне природных процессов (рис. 15.1).

Система экологического мониторинга должна накапливать, систематизировать и анализировать информацию, позволяющую определить:

- состояние окружающей среды;

рующие, полихлорбифенилтрансформирующие). Определение индикаторных групп бактерий положено в основу микробной индикации распространения тех или иных загрязняющих веществ.

Контрольные вопросы

1. Что входит в понятие экологического мониторинга?
2. Назовите основные направления деятельности системы мониторинга.
3. Перечислите существующие виды мониторинга.
4. В чем суть биологической индикации загрязнения природной среды? Какие методы при этом используются?
5. Какие интегральные структурные и функциональные характеристики состояния природной среды используются в ОГСНК?

16. Глобальные экологические проблемы

Деятельность современного человечества существенно изменила природную среду на всей нашей планете.

Суть современного экологического кризиса составляет противоречие между почти безграничными возможностями человеческой деятельности, преобразующей природу, и ограниченными возможностями биосферы в ресурсном обеспечении этой деятельности.

Глобальный характер современного экологического кризиса отличает его от предшествующих кризисов. В этой связи традиционные методы выхода из кризиса посредством перемещения на новые территории практически неосуществимы. Реальным остается изменение способов производства, норм потребления и объемов использования природных ресурсов.

На протяжении последних двух-трех веков технические возможности человека изменять природную среду стремительно возрастали, достигнув своей высшей точки в эпоху научно-технического прогресса. Однако выяснилось, что рост могущества человека чаще всего приводил к увеличению отрицательных для природы и в конечном счете опасных для существования самого человека последствий его деятельности.

К числу наиболее острых для человечества и до сих пор не решенных *экологических проблем* можно отнести следующие:

- демографический кризис (резкое увеличение численности населения Земли);
- урбанизация;
- уменьшение площади лесов;
- эрозия и снижение плодородия почв;
- дефицит пресной воды;
- негативные последствия производства энергии;
- загрязнение природной среды;
- разрушение озонового слоя стратосферы;
- антропогенное изменение климата;
- снижение биологического разнообразия (уменьшение численности видов организмов);
- снижение устойчивости природных экосистем к антропогенному воздействию;
- влияние негативных изменений в природной среде на здоровье населения.

мышленности и городского населения, орошения сельскохозяйственных полей. Создание крупных водохранилищ, площадь которых во многих случаях сравнима с площадью больших естественных озер, резко изменило режим испарения и стока на обширных территориях.

Период в истории взаимоотношений человека и природы с начала XX в. и до настоящего времени характеризуется усилением его экспансии: заселением всех доступных для проживания территорий, интенсивным развитием промышленного и сельскохозяйственного производства, открытием и началом эксплуатации новых способов высвобождения и преобразования энергии (в том числе энергии атомного ядра), началом освоения околоземного космического пространства и Солнечной системы в целом, а также невиданным ранее ростом численности населения.

История влияния человека на биосферу показывает, что технический прогресс постоянно увеличивает возможности воздействия на окружающую среду, создавая предпосылки для возникновения крупных экологических кризисов. Тем не менее тот же технический прогресс расширяет возможности устранения создаваемых человеком ухудшений природной среды. Наиболее отчетливо эти две противоположные тенденции проявились во второй половине XX в. и продолжают в настоящее время.

Контрольные вопросы

1. Охарактеризуйте основные направления негативного влияния человека на биосферу.
2. В чем заключается суть современного экологического кризиса?
3. Перечислите важнейшие экологические проблемы современности.
4. Какие антропогенные факторы влияют на глобальное изменение климата?
5. Каковы негативные последствия загрязнения отходами производства различных сред в биосфере?

17. Экологические проблемы городов

Комплекс экологических проблем присущ любой территории, где сконцентрированы промышленные предприятия и население. В наибольшей степени он проявляется в условиях города, причем состав и острота экологических проблем зависят от множества факторов, к которым относятся:

- *масштаб города* — его площадь, состав и численность городского населения. Именно эти параметры во многом определяют интенсивность транспортных потоков, объемы промышленного и бытового мусора, вывозимого на свалки или перерабатываемого на соответствующих предприятиях;

- *природные условия городской территории* — особенности климата, в частности среднегодовая температура, циркуляционные процессы в атмосфере, наличие или отсутствие крупных водных объектов и лесных массивов внутри города и по его периферии. Эти природные условия, зависящие от географического расположения городов, во многом определяют степень комфортности проживания горожан, необходимые энергетические затраты, качество водоснабжения, темпы нейтрализации загрязнителей, сбрасываемых в атмосферу и водные источники;

- *характер и масштабы выбросов веществ, загрязняющих атмосферу, водные источники и почвы городской территории*. По этим признакам могут быть выделены промышленные города, жизнь которых ориентирована на обслуживание промышленных предприятий или транспортных узлов; административные города, в которых сосредоточено управление отдельными территориями. Города, где сочетаются оба вида деятельности, — крупные административно-промышленные центры (Москва, Санкт-Петербург, Екатеринбург, Красноярск, Новосибирск и многие другие) с населением, обычно приближающимся к миллиону или превышающим его;

- *особенности городской застройки* — ее этажность, расположение в отношении сторон света и главенствующих элементов рельефа. Наблюдаемая тенденция существенного увеличения этажности застройки в городах России, порой без учета степени надежности и тенденций изменения грунтов оснований фундаментов, роста численности населения, транспортных потоков и всей городской инфраструктуры могут в перспективе вызвать дополнительные экологические трудности;

сложившегося оптимального состояния организма человека и способно привести к развитию патологии.

В последние годы в разных городах России участились вспышки заболеваемости гельминтозами, педикулезом, чесоткой. Прослеживается рост заболеваемости острыми кишечными инфекциями вследствие загрязнения питьевой воды возбудителями кишечных инфекций: вирусами, бактериями, цистами лямблий, амебами, криптоспоридиями. Требуется тщательного контроля регуляция численности популяций одичавших кошек, собак, подвальных комаров, крыс, мышей, тараканов и других организмов, служащих переносчиками возбудителей опасных инфекционных заболеваний.

Особые условия сложились в городах, входящих в состав промышленных территориально-производственных комплексов. Например, в районах расположения химической и нефтехимической промышленности широко распространены аллергические заболевания (дерматиты, бронхиты, бронхиальная астма и т. п.).

Таким образом, современный большой город представляет собой чрезвычайно сложную техносферную систему и характеризуется: непрерывным и интенсивным ростом городской площади, численности и плотности населения; концентрацией в городах больших масс населения на сравнительно небольших пространствах земли; наличием фабрик, заводов, административных учреждений и возникновением ряда специфических экологических и санитарно-гигиенических проблем, вызванных загрязнением городской среды промышленными и хозяйственно-бытовыми отходами. Комплексное научно обоснованное решение этих проблем с учетом сохранения окружающей природной среды и здоровья городского населения представляет важнейшую государственную задачу.

Контрольные вопросы

1. Перечислите факторы, обуславливающие состав и остроту экологических проблем в городской среде.
2. Что такое «расползание городов»? Каковы негативные последствия этого процесса для окружающей среды?
3. Укажите основные причины напряженной санитарно-гигиенической и эпидемиологической обстановки в городах.
4. Назовите главные факторы обострения экологической ситуации в мегаполисах.
5. Какие негативные факторы городской среды способствуют ухудшению здоровья населения в крупных промышленных городах?

Заключение

Обладая огромными техническими возможностями в области природопользования, человек часто нарушает естественный ход природных процессов и таким образом ухудшает качество среды своего обитания, осложняет современную экологическую ситуацию. Масштабы отрицательных последствий технологического прогресса особенно огромны. Проблема загрязнения природной среды становится столь острой из-за роста объемов промышленного и сельскохозяйственного производства, вызванного резким увеличением численности населения Земли.

В эпоху ускоренного развития научно-технического прогресса особого внимания требует защита окружающей среды и сохранение здоровья населения, обеспечение ответственности каждого человека за состояние природы перед нынешними и будущими поколениями. Решение экологических проблем и оптимизация (гармонизация) воздействия человека на природу зависят от всех, но в первую очередь от тех, кто участвует в производственных процессах, являющихся основными факторами ухудшения экологической обстановки. В существенной степени эффективное природопользование зависит от руководителей производства, от их отношения к природе. Знание основных механизмов целостного функционирования экосистем и объективных закономерностей их развития, а также наиболее важных положений природоохранного законодательства должно быть частью профессиональной подготовки инженерно-технических специалистов.

Продолжающееся использование устаревших технологий в промышленности России, большая изношенность оборудования, несовершенство действующего природоохранного законодательства, разрешающего предприятиям платить штрафы за экологический ущерб по льготным ставкам, не позволяют снизить антропогенную нагрузку на окружающую природную среду и здоровье населения.

В последние годы в большинстве стран мира ужесточается природоохранное законодательство. В ближайшем будущем это приведет к росту доли «экологических» расходов в сумме общих затрат в промышленности, что обусловит необходимость снижения удельных издержек производства, связанных с образованием отходов, в расчете на единицу продукции. В настоящее время за-

траты большинства крупнейших промышленных предприятий России на природоохранную деятельность не превышают 1...3 % от себестоимости продукции и не способствуют реальному сохранению природной среды и охране здоровья населения, проживающего на индустриальных территориях.

Ожидаемые в ближайшем будущем изменения в государственной экологической политике (ужесточение законодательства, повышение штрафов за экологический ущерб, обязательность экологической экспертизы проектов и т. д.) и необходимость использования современных технологий и инженерно-технических решений, отвечающих строгим экологическим нормам на мировом рынке, должны заставить отечественных производителей модернизировать существующие производства. Важно, чтобы это не откладывалось на далекую перспективу.

Одним из приоритетных направлений развития современных технологий становится, наряду со снижением энергоемкости, повышение уровня их экологичности.

В XXI в. инженер, разрабатывающий и внедряющий в производство новые технологии, обязан заботиться об обеспечении благоприятной для человека природной среды. Обладая экологическим мировоззрением, современный специалист должен рассматривать и решать проблемы сохранения окружающей среды в комплексе с техническими вопросами.

Словарь основных экологических терминов

Абиотическая среда — неживая физическая и химическая среда обитания живых организмов.

Абиотические факторы среды — компоненты и явления неживой, неорганической природы, прямо или косвенно воздействующие на живые организмы (климатические, почвенные, географические и другие факторы).

Автотрофы — организмы, синтезирующие из неорганических соединений органическое вещество с использованием энергии Солнца или энергии, освобождающейся при окислительно-восстановительных химических реакциях.

Агроэкосистема — искусственная экосистема, основные функции которой поддерживаются агрономическими мероприятиями: вспашкой, селекцией, внесением удобрений и ядохимикатов. От природных экосистем этот тип экосистем отличается небольшим разнообразием видов, доминированием культурных растений или домашних животных.

Азотфиксаторы — специализированные микроорганизмы, способные фиксировать атмосферный молекулярный азот, недоступный для других организмов, и включать его в органическое вещество.

Альбедо — доля отраженного Землей солнечного излучения.

Антициклоны — атмосферные вихри, в центре которых находится область повышенного давления. Под действием сил Кориолиса в Северном полушарии циклоны вращаются против хода часовой стрелки, а в Южном — по ходу часовой стрелки. В центре антициклона находится область повышенного давления, в которой воздушные массы, вращаясь, опускаются вниз.

Антропогенная нагрузка — совокупное воздействие всех видов человеческой деятельности на земельные ресурсы, водные и воздушные среды, растительный и животный мир, недра Земли.

Антропогенная эвтрофикация — деградация водных экосистем из-за чрезмерного накопления в воде биогенных элементов, способствующих бурному развитию водорослей, что ведет к снижению качества питьевой воды.

Антропогенное воздействие на природу — прямое или косвенное воздействие человека и результатов его деятельности на

Литература

Акимова Т.А., Хаскин В.В. Экология. Человек — Экономика — Биота — Среда: учебник для студентов вузов. 3-е изд., перераб. и доп. М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2007.

Коробкин В.И., Передельский Л.В. Экология: учебник для студентов вузов. Ростов н/Д.: Феникс, 2014.

Николайкин Н.И., Николайкина Н.Е., Мелехова О.П. Экология. М.: Изд. центр «Академия», 2012.

Общая геофизика / Е.П. Анисимова, А.А. Сперанская, В.И. Трухин [и др.]; под ред. В.А. Магницкова. М.: Изд-во МГУ, 1995.

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

Рамад Ф. Основы прикладной экологии. Л.: Гидрометеиздат, 1981.

Экология города / под ред. В.В. Денисова. Ростов н/Д.: Феникс; М.: ИКЦ МарТ, 2008.

Экология: учеб. пособие / М.Н. Корсак, С.А. Мошаров, А.П. Пестряков [и др.]. 3-е изд. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2014.

Оглавление

Предисловие председателя Редакционного совета	5
Предисловие	7
Введение	11
1. Взаимоотношения человека и природы (исторический аспект).....	13
2. Экология как наука	26
3. Структура биосферы.....	36
4. Экологические факторы среды.....	62
5. Абиотические факторы среды	71
6. Биотические факторы. Формы биологических отношений в сообществах	90
7. Антропогенные факторы.....	100
8. Гидросфера как среда жизни	128
9. Наземно-воздушная, почвенная и организменная среды жизни	147
10. Биогеохимические циклы.....	164
11. Экология популяций.....	177
12. Структура и функции экосистем	190
13. Развитие и эволюция экосистем (сукцессия).....	211
14. Нормирование качества окружающей среды	223
15. Мониторинг окружающей среды	234
16. Глобальные экологические проблемы	243
17. Экологические проблемы городов	257
Заключение	263
Словарь основных экологических терминов.....	265
Литература.....	278

Учебное издание

Александров Анатолий Александрович
Корсак Михаил Николаевич
Мошаров Сергей Александрович
Кроленко Мария Ивановна
Спиридонов Владимир Сергеевич

Экология

Редактор *О.М. Королева*
Художник *Я.М. Асинкритова*
Корректор *Н.В. Савельева*
Компьютерная графика *О.В. Левашовой*
Компьютерная верстка *Н.Ф. Бердавцевой*

Оригинал-макет подготовлен
в Издательстве МГТУ им. Н.Э. Баумана.

В оформлении использованы шрифты
Студии Артемия Лебедева.

Подписано в печать 15.12.2017. Формат 60×90/16.
Усл. печ. л. 17,5. Тираж 600 экз. Заказ

Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана.
105005, Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1.
press@bmstu.ru
www.baumanpress.ru

Отпечатано в типографии МГТУ им. Н.Э. Баумана.
105005, Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1.
baumanprint@gmail.com