

Министерство образования Республики Беларусь  
Белорусский государственный университет  
Факультет географии и геоинформатики  
Кафедра географической экологии

СОГЛАСОВАНО

Заведующий кафедрой

Гагина Н. В.

«24» апреля 2025 г.

СОГЛАСОВАНО

Декан факультета

Кольмакова Е. Г.

«30» мая 2025 г.

Общая экология

Электронный учебно-методический комплекс  
для специальности 6-05-0521-03 «Геоэкология»

Регистрационный № 2.4.2-24 / 628

Автор:

Витченко А.Н., профессор кафедры географической экологии факультета географии и геоинформатики Белорусского государственного университета, доктор географических наук, профессор.

Рассмотрено и утверждено на заседании Совета факультета географии и геоинформатики БГУ. Протокол № 10 от 30.05.2025 г.

Минск 2025

УДК 574(075.8)

В 545

Утверждено на заседании Научно-методического совета БГУ  
Протокол № 10 от 22.05.2025 г.

А в т о р:

Витченко Александр Николаевич, профессор кафедры географической экологии факультета географии и геоинформатики Белорусского государственного университета, доктор географических наук, профессор.

Рецензенты:

кафедра географии и экологии человека УО «Белорусский государственный педагогический университет им. М.Танка (заведующий кафедрой Ковалева О.А., кандидат биологических наук, доцент);

Топаз А.А., заведующий кафедрой геодезии и космоаэрокартографии факультета географии и геоинформатики Белорусского государственного университета, кандидат географических наук, доцент.

Витченко, А. Н. Общая экология : электронный учебно-методический комплекс для специальности 6-05-0521-03 «Геоэкология» / А. Н. Витченко ; БГУ, Фак. географии и геоинформатики, Каф. географической экологии. – Минск : БГУ, 2025. – 168 с. : табл. – Библиогр.: с. 163–165.

Электронный учебно-методический комплекс (ЭУМК) предназначен для студентов, обучающихся по специальности 6-05-0521-03 «Геоэкология». В теоретической разделе ЭУМК изложены научные представления о биосфера как специфической оболочке Земли, последовательно рассматриваются основные закономерности и механизмы устойчивого существования биологических систем разного уровня в условиях сложной и динамичной окружающей среды. В практическом разделе представлены вопросы к семинарским занятиям, методические разработки по выполнению практических работ по учебной дисциплине, позволяющие формировать навыки научно-исследовательской работы.

## СОДЕРЖАНИЕ

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА.....	4
1. ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ.....	7
Конспект лекций по учебной дисциплине.....	7
1.1. Биосфера.....	7
1.1.1. Введение. История развития экологии. Основные методы экологических исследований.....	7
1.1.2. Среда жизни в биосфере и их характеристика.....	16
1.1.3. Живое вещество биосферы.....	27
1.1.4. Круговорот веществ и энергии как основа функционирования биосферы.....	35
1.1.5. Влияние деятельности человека на биосферу.....	45
1.2. Организм и факторы окружающей среды.....	57
1.2.1. Адаптации живых организмов к факторам среды.....	57
1.2.2. Температурные адаптации у живых организмов.....	64
1.2.3. Водно-солевой обмен живых организмов.....	75
1.2.4. Газообмен у живых организмов.....	81
1.2.5. Свет как экологический фактор.....	85
1.3. Популяция.....	90
1.3.1. Популяция как биологическая система.....	90
1.3.2. Пространственная структура популяций.....	93
1.3.3. Гомеостаз популяций.....	98
1.3.4. Динамика популяций.....	102
1.4. Биоценоз и экосистема.....	109
1.4.1. Пространственная и трофическая структура биоценоза.....	109
1.4.2. Формы межвидовых связей в экосистемах.....	116
1.4.3. Структура биогеоценоза и динамика экосистем.....	123
1.4.4. Прикладные аспекты экологии.....	127
2. ПРАКТИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ.....	139
2.1. Задания практических работ.....	139
2.2. Вопросы к семинарским занятиям.....	158
2.3. Методические рекомендации по организации самостоятельной работы обучающихся.....	159
3. РАЗДЕЛ КОНТРОЛЯ ЗНАНИЙ.....	161
Примерный перечень вопросов к экзамену.....	161
4. ВСПОМОГАТЕЛЬНЫЙ РАЗДЕЛ.....	163
4.1. Рекомендуемая литература.....	163
4.2. Электронные ресурсы.....	165
4.3. Учебно-методическая карта учебной дисциплины «Общая экология».....	166

## ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

Электронный учебно-методический комплекс (ЭУМК) по учебной дисциплине «Общая экология» предназначен для студентов специальности 6-05-0521-03 «Геоэкология» факультета географии и геоинформатики Белорусского государственного университета. ЭУМК является необходимой методической основой для обеспечения высокого качества образовательного процесса, формирования необходимых профессиональных компетенций у студентов.

Цель учебной дисциплины заключается в формировании у студентов научных представлений о единстве всех компонентов и элементов окружающей среды, необходимости оптимизации взаимодействия человека и природы.

Задачи дисциплины:

- формирование у студентов необходимых знаний об основных закономерностях развития и современных экологических проблемах биосферы;
- развитие умений коллективной и самостоятельной работы при выполнении и обсуждении различных проблем и направлений экологических исследований;
- применение полученных знаний в практических целях при решении проблем, связанных с охраной окружающей среды.

Дисциплина «Общая экология» относится к модулю «Основы наук о Земле» государственного компонента специальности 6-05-0521-03 «Геоэкология».

Назначение ЭУМК по дисциплине «Общая экология» заключается в реализации требований образовательного стандарта и учебной программы, обеспечение непрерывности и полноты процесса обучения, систематизации и контроля знаний.

ЭУМК рекомендуется использовать при подготовке к лекциям, во время выполнения практических заданий, закрепления знаний на семинарских занятиях, подготовки к текущему и итоговому контролю знаний по разделам учебной дисциплины. Все задания практических работ и семинарских занятий, а также презентации лекций размещены на Образовательном портале БГУ LMS Moodle.

Содержание ЭУМК соответствует образовательному стандарту специальности 6-05-0521-03 «Геоэкология» и учебной программе дисциплины «Общая экология».

Содержательная часть отражает основные достижения, проблемы и тенденции развития экологии. Последовательно рассматриваются научные представления о биосфера как специфической оболочке Земли, основные закономерности и механизмы устойчивого существования биологических систем разного уровня в условиях сложной и динамичной окружающей среды.

Структура ЭУМК включает теоретический раздел, практический раздел, раздел контроля знаний, вспомогательный раздел.

**Теоретический раздел** соответствует разделам учебной программы и включает такие вопросы как история развития экологии; основные методы

экологических исследований; среды жизни в биосфере и их характеристика; живое вещество биосферы; круговорот веществ и энергии как основа функционирования биосферы; влияние деятельности человека на биосферу; адаптации живых организмов к факторам окружающей среды; водно-солевой и газовый обмен у живых организмов; популяция как биологическая система; пространственная структура, гомеостаз и динамика популяций; пространственная и трофическая структура биоценоза; формы межвидовых связей в экосистемах; структура биогеоценоза и динамика экосистем; прикладные аспекты экологии.

**Практический раздел** включает задания для проведения практических работ тематика которых соответствует учебной программе. Структура каждого занятия учитывает возможность его самостоятельного выполнения студентами всех форм обучения и включает название темы, цель, форму проведения занятия, материалы и оборудование, задание и методические указания по его выполнению.

**Раздел контроля знаний** содержит примерный перечень вопросов к экзамену.

**Вспомогательный раздел** содержит список рекомендуемой литературы, электронных ресурсов и учебно-методическую карту дисциплины.

Использование ЭУМК по учебной дисциплине «Общая экология» позволит повысить эффективность управления процессом обучения с помощью инновационных образовательных технологий, обеспечить подготовку квалифицированных специалистов и формирование следующей базовой профессиональной компетенции:

**БПК-4.** Анализировать основные свойства, закономерности функционирования, динамики и эволюции биосферы, главные функции биоты в биосфере, ее экологическое значение и особенности хозяйственного использования.

В результате освоения учебной дисциплины студент должен:

**знать:**

- основные закономерности развития биосферы и ее составные элементы;
- специфику существования организма в условиях меняющихся факторов окружающей среды;
- пути формирования естественных группировок особей одного вида популяций;
- особенности формирования и развития биоценозов и экосистем;
- трофическую структуру биоценоза;
- принципы создания биокультур.

**уметь:**

- оценивать устойчивость экосистем разного ранга: на уровне особи, популяции, биоценоза и биосферы в целом;

- ориентироваться в экологических проблемах, возникающих на локальном, региональном и глобальном уровнях.

***владеть:***

- базовыми экологическими терминами и понятиями;
- основными приемами обработки, анализа и интерпритации экологической информации;
- приемами работы с биологическим материалом;
- методами оценки качества окружающей среды и устойчивого развития экосистем разного ранга.

Дисциплина «Общая экология» на специальности 6-05-0521-03 «Геоэкология» изучается в 1 семестре. Всего на изучение учебной дисциплины для очной формы получения высшего образования отведено 112 часов, в том числе 62 аудиторных часа. Распределение аудиторных часов по видам занятий: лекции – 36 часов, семинарские занятия – 8 часов, практические занятия – 18 часов (в том числе – 4 часа/ДОТ). Трудоемкость учебной дисциплины составляет 3 зачетные единицы. Форма текущей аттестации – экзамен.

# 1. ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ

## Конспект лекций по учебной дисциплине

### 1.1. Биосфера

#### 1.1.1. Введение. История развития экологии. Основные методы экологических исследований

*Предмет и задачи общей экологии, ее связь с другими естественными науками.*

Термин «экология» (от греч. oikos – жилище и logos – наука) предложил Эрнст Геккель в 1866 г. для обозначения биологической науки, изучающей взаимоотношения организмов со средой. *Экология* – это наука о закономерностях формирования, развития и функционирования биологических систем разного уровня в их взаимоотношениях с условиями среды.

Экология включает три уровня организации биологических систем: организменный, популяционный и экосистемный. *Основная цель экологии* – исследование влияний различных внешних агентов на организм, а также изучение адаптаций организмов к этим влияниям. *Объект изучения экологии* – биологические системы разного уровня организации (от организма до биосферы). *Предмет изучения экологии* – изучение взаимоотношений между живыми организмами (в том числе человеком) и средой их обитания.

*Основные задачи экологии:* 1) изучение механизмов адаптации (приспособления) организмов к среде обитания; 2) изучение свойств и структуры популяций, динамики и механизмов регуляции их численности; 3) изучение биологического разнообразия экосистем, закономерностей образования и распределения в них биологической продукции; 4) изучение процессов, протекающих в биосфере, с целью поддержания ее устойчивости; 5) разработка оптимальных путей взаимодействия общества и природы с учетом законов существования природы.

#### *Важнейшие этапы становления и развития экологии.*

*Первый этап* – отражает примитивные знания, накапливаемые людьми в процессе тесного общения с природой и ведения натурального хозяйства. Начался за много веков до новой эры и завершился в первые века до новой эры. В древних египетских, индийских, китайских и особенно европейских письменных источниках можно обнаружить сведения об образе жизни и изменениях численности животных и растений. Элементы экологии отражены в эпических произведениях и легендах: в древнеиндийских сказаниях (сведения о повадках и образе жизни 50 животных), в рукописных книгах Китая и Вавилона (сроки посева и сбора диких и культурных растений, способы обработки земли, виды птиц и зверей).

*Второй этап* – накопление фактического материала, но уже античными учеными, средневековой застой. Период: I-III век до н.э. – XIV век н.э. В средние века в Европе произошел откат человеческой мысли далеко назад, церковь на несколько веков явилась тормозом развития всех естественных наук. Связь строения организмов со средой всецело приписывалась воле бога. *Эмпедокл* пишет о связях растений с условиями существования, об их зависимости от окружающего мира. *Гиппократ* (460-370 гг. до н. э.) выдвигает идеи о влиянии факторов среды на здоровье людей. *Аристотель* (384-322 гг. до н. э.), описывая свыше 500 видов животных, повествует об их поведении (миграциях и зимней спячке животных, перелетах птиц) и классифицирует по образу жизни и способу питания. Ученик Аристотеля, *Теофраст Эрезийский* (371-280 гг. до н. э.) приводит сведения о зависимости формы и особенностей роста растений от почвы и климата. *Плиний* (23-79 гг. н.э.) в своей многотомной «Философии природы» многие явления природы рассматривал с подлинно экологических позиций. Известные ученые этого периода: *Разес* (865-925 гг.) персидский учёный-энциклопедист, врач, алхимик и философ. Его основные работы по медицине – книга «Аль-хави» («Всеобъемлющая книга по медицине») и 10-томная «Медицинская книга, посвящённая Мансуру» – своеобразные медицинские энциклопедии на арабском языке. Будучи переведёнными на латинский язык, они в течение нескольких столетий служили руководством для врачей. *Авиценна* (980-1037 гг.) учёный, философ и врач, представитель восточного аристотелизма. Написанный на арабском энциклопедический труд «Книга исцеления» посвящён логике, физике, биологии, психологии, геометрии, арифметике, музыке, астрономии, а также метафизике. «Канон врачебной науки» – сочинение энциклопедического характера, в котором предписания античных медиков осмыслены и переработаны в соответствии с достижениями арабской медицины. В позднее средневековье появились новые веяния в науке – зачатки экологии. *Альберт Великий* (А. Больштедт, ~1193-1280 гг.) в трудах о растениях придает большое значение условиям произрастания, в частности световому фактору. Появилась информация о дальних странах: *Марко Поло* (XIII век), *Афанасий Никитин* (XV век) и др.

*Третий этап* – продолжение сбора и первые попытки систематизация колоссального фактического материала, накопленного с началом великих географических открытий и колонизацией новых стран – в эпоху Возрождения. Период: с IV по XVIII век включительно. Путешественники из дальних стран привозили неведомых животных и семена неведомых растений. Чтобы разобраться во всем многообразии форм живых существ, необходимо было создать таксономическую систему и, таким образом, осмыслить это разнообразие. В первой половине XVIII века *Карл Линней* создал таксономическую систему животных и растений, которой ботаники пользуются и сегодня. *А. Чезальпино* (1519-1603 гг.), *Ж. Турнефóр* (1656-1708 гг.), отмечали зависимость растений от условий среды и мест произрастания. *Ж. Бюффóн* (1707-1788 гг.) в «Естественной истории» писал о влиянии климата на животные организмы. *Ж. Ламарк* (1744-1829 гг.) открыл эволюцию жизни.

Ламарк был последователем К. Линнея и составил классификацию животных («Философия зоологии»), отражающую происхождение и эволюцию животных, выбрав в качестве признаков внутреннее строение (отделил беспозвоночных от позвоночных) и строение нервной системы. А. Декандоль (1806-1893 гг.) в «Ботанической географии» описывал влияние абиотических факторов на растительные организмы. Известный английский химик Р. Бойль (1627-1691 гг.) поставил первый экологический эксперимент по влиянию низкого атмосферного давления на развитие животных. Ф. Реди (1626-1698 гг.) экспериментально доказал, что самозарождение сложных животных невозможно. А. Левенгук (1632-1723 гг.) изобрел микроскоп и первым изучил трофические цепи и закономерности регуляции численности организмов. А. Цезальпин (1509-1603), Ж. Турнефор (1656-1708), отмечали зависимость растений от условий среды и мест произрастания. Ж. Бюффон (1707-1788) в «Естественной истории» писал о влиянии климата на животные организмы. Ж. Ламарк (1744-1829) открыл эволюцию жизни. Он был последователем К. Линнея и составил классификацию животных («Философия зоологии»), отражающую происхождение – эволюцию животных, выбрав в качестве признаков внутреннее строение (отделил беспозвоночных от позвоночных) и строение нервной системы. А. Декандоль (1806-1895) в «Ботанической географии» описывал влияние абиотических факторов на растительные организмы. Известный английский химик Р. Бойль (1627-1691) поставил первый экологический эксперимент по влиянию низкого атмосферного давления на развитие животных. Ф. Реди экспериментально доказал, что самозарождение сложных животных невозможно. А. Левенгук, изобретший микроскоп, был первым в изучении трофических цепей и регуляции численности организмов. Большой вклад в развитие экологических представлений внесли естествоиспытатели П. С. Паллас (1741-1811 гг.), И. И. Лепехин (1740-1802 гг.), С. П. Крашенинников (1711-1755 гг.) и др. В их трудах описывается животный и растительный мир Сибири, Дальнего Востока, Урала и Казахстана, делаются экологические обобщения. М. В. Ломоносов (1711-1765 гг.) высказал идею о влиянии среды на организмы. А. А. Каверзнев (1748-? гг.) в книге «О перерождении животных» (1775) рассматривает с экологических позиций вопрос об изменемости животных. А. Т. Болотов (1738-1833 гг.) в труде «Примечания о травах вообще и о различии их» разработал классификацию местообитаний растений.

*Четвертый этап* – связан с крупными ботанико-географическими открытиями, способствовавшими дальнейшему развитию экологического мышления. Период: конец XVIII – начало XIX века. В начале XIX в. выделяются в самостоятельные отрасли экология растений и экология животных. Ученые этого времени анализировали закономерности организмов и среды, взаимоотношения между организмами. В XIX в. появляется биогеография благодаря работам А. Гумбольдта (1769-1859 гг.). В 1807 г. он издает труд «Идеи о географии растений», где разрабатывает положения о формах растений, ассоциациях и других экологических понятиях.

*Пятый этап* – становление эволюционной экологии, углубление экологических исследований. Период: с начала XIX века до второй половины XIX века (1866 г.). *К. Ф. Рулье* (1814-1858 гг.) считается одним из предшественников Чарльза Дарвина и основоположником экологии животных. Он проводит идею о том, что развитие органического мира определяется воздействием изменяющейся внешней среды. Его идеи развил *Н. А. Северцев* (1827-1885), опубликовавший в 1855 г. работу «Периодические явления в жизни зверей, птиц и гадов Воронежской губернии». Другой ученик *К. Ф. Рулье* – *А. Н. Бекетов* (1825-1902 гг.) возглавлял школу русской фитогеографии. Он в 1896 году издал свой труд – «География растений». В 1859 году появилась книга *Ч. Дарвина* (1809-1882 гг.) «Происхождение видов путем естественного отбора», где показано, что борьба за существование в природе приводит к естественному отбору. Это великое открытие в биологии явилось мощным толчком для развития экологических идей. У Дарвина было много последователей. Один из них – немецкий зоолог *Э. Геккель* (1834-1919 гг.). Вскоре после выхода в свет учения Ч. Дарвина – в 1866 г. он предложил термин для новой науки – «экология», который впоследствии получил всеобщее признание. Именно 1866 г. следует считать годом рождения экологии. В конце XIX в. она представляла собой науку об адаптации организмов к климатическим условиям, но лишь через 100 лет превратилась в целое мировоззрение – общую экологию. В 1895 г. датский ученый *Э. Варминг* (1841-1924) ввел термин «экология» в ботанику для обозначения самостоятельной научной дисциплины – экологии растений.

*Шестой этап* – доминирование исследований аутоэкологического направления – изучение естественной совокупности видов, непрерывно приспособляющихся к изменениям факторов среды. Период: со второй половины XIX (1866 г.) до середины XX (1936 г.) века. В 1877 году немецкий гидробиолог *К. Мёбиус* (1825-1908 гг.) на основе изучения устричных банок в Северном море разработал учение о биоценозе, как сообществе организмов, которые через среду обитания теснейшим образом связаны друг с другом. Именно его труд «Устрицы и устричное хозяйство» положил начало биоценологическим – экосистемным исследованиям. Термин «биоценоз» широко используется современными учеными. Учение о растительных сообществах, благодаря *С. И. Коржинскому* (1861-1900) и *И. К. Пачоскому* (1864-1942) выделилось в фитоценологию, позднее в геоботанику. Исключительно велики заслуги *В. В. Докучаева* (1846-1903). Он создал учение о природных зонах и учение о почве, как особом биокосном теле (системе). Показал, что почва – это неотъемлемый компонент практически всех экосистем суши нашей планеты. Теоретические разработки *В. В. Докучаева* («Учение о зонах природы») положили начало развитию геоботаники и ландшафтной экологии. Бурное развитие экологии характерно для XX века. *Г. Ф. Морозов* (1867-1920 гг.) создал капитальный труд «Учение о лесе» (1920), где лес определяется как «общежитие» растений и животных – пример экологического подхода к природным экосистемам. *В. Н. Вернадский* (1863-1945 гг.) пришел к

созданию учения о биосфере («Биосфера») и ее эволюции («Несколько слов о ноосфере»).

*Седьмой этап* отражает новый – системный подход к исследованиям природных систем, формирование общей экологии, как самостоятельной фундаментальной биологической науки, доминирование синэкологического направления – изучение процессов материально-энергетического обмена, развитие количественных методов и математического моделирования. Период: 40-70 гг. XX века. *Г. Гаузе* в начале 40-х годов прошлого столетия провозгласил принцип конкурентного исключения, указав на важность трофических связей, как основного пути для потоков энергии через природные системы. В 1935 г. англичанин *А. Тенсли* разработал учение об экосистемах, а в 1942 г. русский ботаник *В. Н. Сукачев* – понятие о биогеоценозе как едином комплексе организмов и их абиотической среды.

*Восьмой этап* – «экологизация» науки; становление экологических наук, учитывающих деятельность человека. Возрастание интереса к изучению популяций (демэкологии), динамики формирования биогеоценозов в связи с антропогенными нарушениями. Основная методология – системный анализ. Одно из главных направлений – длительный экологический мониторинг разных уровней (локальный, региональный, глобальный и пр.). Период: с 80-х годов XX века по настоящее время. Крупный российский ученый-теоретик, наш современник *Н. Ф. Реймерс* (1931-1993) общую экологию представил, как вершину естествознания, вокруг которой концентрируются другие научные дисциплины, связанные с актуальными проблемами цивилизации и угрозой экологического кризиса. Другой российский ученый – *Н. Н. Моисеев* (1917-2000), специалист в области системного анализа, моделирования и прогнозирования, считает, что дальнейшее развитие цивилизации должно происходить через коэволюцию (совместную эволюцию) человеческого общества и биосферы – к ноосфере. Большой вклад в развитие экологии внесли отечественные ученые: *В. Н. Беклемишев, Г. Г. Винберг, М. С. Гиляров, В. И. Жадин, Б. Г. Иоганзен, Г. В. Никольский, Л. Г. Раменский* и др.

### ***Структура общей экологии. Методы экологических исследований.***

*Основные разделы экологии* – общая экология (биоэкология), геоэкология, экология человека, социальная экология и прикладная экология. В общей экологии выделяются подразделения, изучающие органический мир на уровне особи (организма), популяции, вида, экосистемы (биоценоза) и биосферы. В связи с этим выделяют *аутэкологию* (изучает взаимоотношения особей с внешней средой), *демэкологию* (изучает естественные группировки особей одного вида (популяции)), и *синэкологию* (изучает экосистемы и биоценозы, пути их формирования и развития, структуру и динамику, взаимодействие с физико-химическими факторами среды).

В процессе развития и взаимодействия биологии, экологии и географии сформировалось по меньшей мере два направления: *биоэкология* и *геоэкология*.

Термин «биоэкология», как отмечает *Н. Ф. Реймерс* (1990) используется для обозначения экологии в первоначальном её понимании, которое предложил

Э. Геккель. То есть под биоэкологией, очевидно, следует понимать раздел традиционной, классической биологии, занимающийся изучением отношения организмов между собой и окружающей средой. *Биоэкология* – наука, изучающая взаимоотношение живых организмов и образуемых ими сообществ друг с другом и окружающей средой. *Геоэкология* – наука о свойствах и закономерностях развития географической среды и слагающих ее природных и природно-антропогенных геосистем, разработке теоретических основ, принципов и нормативов рационального природопользования, устойчивого развития общества и оптимизации его взаимодействия с окружающей средой.

*Методы экологических исследований.* *Популяционный подход* предусматривает изучение размещения в пространстве, особенности поведения, миграции и процессов размножения (у животных), физиологических, биохимических, продукционных и других процессов (у растений), зависимости всех показателей от биотических и абиотических факторов. *Экосистемный подход* предусматривает всестороннее изучение всех популяций живых организмов сообщества (растения, микроорганизмы, животные) с учетом влияния на них ограничивающих факторов (эдафические, топографические, климатические). Основное внимание при этом подходе уделяется изучению потока энергии и циклам круговорота веществ в экосистемах, установлению функциональных связей между биотическими и абиотическими факторами. *Эволюционный подход* дает возможность понять основные закономерности, которые действовали в экосфере до того, как антропогенный фактор стал одним из определяющих. Он позволяет реконструировать экосистемы прошлого, принимая во внимание палеонтологические данные (анализ пыльцы, ископаемые остатки). *В основе исторического подхода* лежат изменения, обусловленные развитием цивилизации (от неолита до настоящего времени) и производствами, созданными человеком. К этим изменениям относятся изменения климата, целенаправленное и случайное расселение человеком растений и животных.

В экологии часто используются методы, применяемые в других науках, как в биологических (биогеохимия, анатомия, физиология, и др.), так и небιологических (физика, химия, геодезия, метеорология и др.). Но для выявления специфики экологических закономерностей существуют исключительно *собственные – экологические методы*. Они делятся на *полевые, лабораторные, экспериментальные, количественные методы*. *Полевые методы* предполагают изучение популяций и сообществ в естественной среде (в природе) и позволяют установить воздействие на объект комплекса факторов, изучить общую картину развития и жизнедеятельности изучаемого объекта. *Экспериментальные методы* отличаются от полевых тем, что организмы искусственно ставятся в условия, при которых можно дозировать размер изучаемого фактора, следовательно, можно точнее, чем при обычном наблюдении, оценить его влияние. При этом выводы, полученные в лаборатории, требуют обязательной проверки в полевых условиях. Большое значение при проведении экологических исследований имеют *химические методы* позволяют установить особенности накопления химических элементов

в растениях и в целом в сообществах. С помощью *физиологических методов* можно в полевых условиях проследить физиологические процессы (фотосинтез и транспирация). В экологических исследованиях широкое распространение получили *математические методы* (математическая статистика, методы теории информации и кибернетики, дифференциальные и интегральные исчисления и др.) и на основе этих методов – *моделирование* биологических явлений.

*Изучение фитоценозов* – важная часть экологических исследований. Видовой состав, структура, жизненное состояние растений и продуктивность растительных сообществ отражают все особенности условий обитания (климат, почвы, положение в рельефе), историю развития и связи между элементами сообщества, как в пространстве, так и во времени. С изучения растительности и начинается изучение экосистем. *Вегетационный метод* исследований растений помогает выяснить различные вопросы питания растений, имеющие как теоретическое, так и практическое значение. С помощью этого метода учеными не только было выяснено, в каких элементах нуждается растение, откуда берет оно эти элементы, но и была изучена роль многих удобрений в развитии отдельных органов растений.

*Изучение зооценозов включает: изучение питания:* состава и количества пищи в разное время года и разные периоды жизни животного; *изучение размножения* (фенология размножения, половая и возрастная структура популяций, зависимость размножения от пищевых ресурсов и погодных условий) – этим определяется продолжение рода и сохранность популяции как вида; *изучение поведения* животных позволяет изучить способность популяции приспосабливаться к изменению условий среды, с поведением связано состояние популяции, ее реакция на всевозможные «раздражители».

*Исследования суточных ритмов активности животных.* Установлены общие свойства суточного ритма разных таксономических групп: *эндогенность* – связь со всей организацией животного; *инерционность* – сохранение некоторое время после изменения внешних условий; *лабильность* – функциональная подвижность, скорость протекания элементарных циклов возбуждения в нервной и мышечной тканях; *адаптивность* – способность к адаптации. *Зоопсихологические методы.* Позволяют исследовать высшие психические способности животных, сложные формы обучения и моторные элементы интеллектуального и игрового поведения животных. *Изучение коммуникативных процессов.* Особая роль уделяется изучению морфологии и функции хеморецепторов, а также специфических феромонов: агрессии, видовой принадлежности, пола, физиологических состояний. Изучение химической коммуникации целого ряда видов показало способность животных выделять разнообразные феромоны и, используя специфические железы, осуществлять мечение территории с целью передачи специфической информации особям как своего, так и других видов.

Если же подходить к *классификации экологических методов* более детально, *основываясь на приемах, преобладающих в рамках того или иного метода*, то все разнообразие методов можно объединить в пять групп.

### *1. Методы количественного учета организмов и оценки биомассы и продуктивности организмов.*

В рамках этих методов применяются подсчеты особей на контрольных площадках, в объемах воды или почвы, маршрутные учеты, отлов и мечение животных, наблюдения за их перемещениями с помощью телеметрии и другие средства, вплоть до аэрокосмической регистрации численности стад, скоплений рыб, густоты древостоя, состояния посевов и урожайности полей. Изучение динамики численности популяций потребовало введения в экологию методов демографии. Все это необходимо для овладения управлением экосистемами, для предотвращения гибели видов и сохранения биологического разнообразия и биопродуктивности экосистем.

*2. Методы регистрации и оценки состояния среды* являются необходимой частью любого экологического исследования. К ним относятся: метеорологические наблюдения; измерения температуры, прозрачности, солености и химического состава воды; определение характеристик почвенной среды; измерения освещенности, радиационного фона, напряженности физических полей; определение химической и бактериальной загрязненности среды и т. п. Эколог вынужден иногда вносить специальные изменения в технику этих измерений и проявлять немалую изобретательность, когда, например, нужно измерить температуру в гнезде высиживающей птенцов дикой птицы, определить состав воздуха в норе спящего сурка или уловить ничтожные колебания гравитационного и магнитного полей, по которым некоторые животные чувствуют приближение землетрясения. К этой же группе методов следует отнести периодическое или непрерывное слежение (мониторинг) за состоянием экологических объектов и качеством окружающей среды. Большое практическое значение имеет регистрация состава и количества вредных примесей в воде, воздухе, почве, растениях в зонах техногенного загрязнения, а также исследования переноса загрязнителей в разных средах. В настоящее время техника экологического мониторинга быстро развивается, используя новейшие методы физико-химического и химического экспресс-анализа, дистанционного зондирования, телеметрии и компьютерной обработки данных. Важными средствами экологического мониторинга являются биомониторинг и биоиндикация – использование для контроля состояния среды некоторых организмов, особо чувствительных к изменениям среды и появлению в ней вредных примесей.

*3. Исследования влияния факторов среды на жизнедеятельность организмов* составляют наиболее разнообразную группу методов экологии.

В их число входят различные, подчас сложные и длительные наблюдения в природе. Но чаще применяются экспериментальные подходы, когда в лабораторных условиях регистрируется воздействие строго контролируемого фактора на те или иные функции растений или животных, а также анализируется применимость полученных на животных результатов к экологии человека. Этим путем устанавливаются оптимальные или граничные условия существования. Так определяются критические и летальные дозы химических и других агентов, по которым рассчитывают предельно допустимые

концентрации и воздействия, лежащие в основе экологического нормирования. В данном случае экология смыкается с физиологией, биохимией, токсикологией. Эколог использует применяемую в этих дисциплинах экспериментальную технику. Методы этой категории важны также при определении устойчивости экосистем и изучении адаптаций – приспособлений организмов к различным условиям среды. К этой группе относятся лабораторные и полевые эксперименты, а также наблюдения в природе. Полевые эксперименты проводятся в природе и связаны с естественными сообществами. Наиболее часто эти исследования включают локальное изъятие или интродукцию вида, сооружение заборов либо садков. Наблюдения в природе обычно требуют много времени, чтобы проследить за изменением экосистемы под воздействием какого-либо фактора.

4. *Методы математического моделирования* приобретают все большее значение в экологии. Для моделирования процессов взаимодействия различных компонентов экосистем, прогноза их состояния и поведения в тех или иных возможных ситуациях применяют математические методы и методы системного анализа. Методы математической статистики дают возможность по случайному набору различных вариантов определить достоверность результатов (степень их отклонения от нормы). Сейчас в экологии применяются методы теории информации и кибернетики, связанные с такими областями математики, как теория вероятности, дифференциальные и интегральные исчисления, теория чисел, математическая логика, матричная алгебра и др. Широко развивается моделирование биологических явлений, т. е. воспроизведение в искусственных системах различных процессов, свойственных живой природе. Особое место занимает так называемое биологическое моделирование. Несмотря на то, что различные организмы отличаются друг от друга, многие процессы у них протекают практически одинаково. Поэтому изучать их удобно на более простых существах. Основной задачей биологического моделирования является экспериментальная проверка гипотез относительно структуры и функций биосистем. Совершенствуются приемы глобального моделирования, доведенные до моделей, основанных на проблемно-прогнозном подходе. Они позволяют рассматривать варианты сценариев и строить обоснованные прогнозы глобального развития.

5. *Быстро развиваются методы прикладной экологии.* Ее важными средствами становятся: создание геоинформационных систем (ГИС-технологий) и банков экологической информации, относящихся к различным регионам, ландшафтам, агроэкосистемам, промышленным центрам, городам; комплексный эколого-экономический анализ состояния территорий для целей экологической диагностики и оздоровления экологической обстановки; методы инженерно-экологических изысканий, необходимых для оптимального размещения, проектирования.

### 1.1.2. Среды жизни в биосфере и их характеристика

#### ***Биосфера как специфическая оболочка Земли. Границы биосферы.***

Термин «Биосфера» был введен в 1875 году австрийским геологом Эдуардом Зюссом. Зюсс рассматривал биосферу как пространство, заполненное жизнью. Термин вошел в обиход, не имея четкого определения. Еще раньше Жан-Батист Ламарк (1802), не употребляя термин «биосфера», отметил роль жизни в формировании земной коры. На рубеже XIX-XX вв. идея о глобальном влиянии жизни на природные явления была обоснована в трудах ученого-почвовед В.В. Докучаева. Развернутое учение о биосфере создано и разработано академиком В.И. Вернадским, опубликовавшим в 1926 г. свой классический труд «Биосфера».

*Биосфера* — оболочка Земли, созданная и заселенная живыми организмами. Границы биосферы определяются условиями существования жизни. К ним относят: необходимое для жизнедеятельности количество воды, минеральных веществ, кислорода, углекислого газа. А также благоприятный температурный режим, степень солености воды в водоемах, уровень радиации и др. Биосфера не может функционировать без тесного взаимодействия с атмосферой, гидросферой и литосферой, в пределах которых возможно распространение жизни.

*Границы биосферы определяет распространение в ней живых организмов.* Несмотря на различную концентрацию и разнообразие живого вещества в разных районах земного шара горизонтальных границ биосфера не имеет. Верхняя вертикальная граница существования жизни в основном обусловлена губительным действием ультрафиолетовой радиации и космического излучения, от которого живое вещество планеты защищено озоновым слоем, расположенным на высоте около 20 км. Нижняя граница биосферы в пределах литосферы лежит в среднем на глубине 3 км от поверхности суши и 0,5 км ниже дна океана.

Земля от других планет Солнечной системы отличается наличием биосферы. Газовый состав атмосферы, глобальный круговорот воды, ключевая роль углерода и его соединений связаны с деятельностью биоты и характерны только для Земли. Биота играет значительную роль во всех глобальных природных круговоротах. Процесс фотосинтеза обеспечивает устойчивое образование важнейшего возобновимого природного ресурса – первичной биологической продукции. Без неё невозможно развитие сельского и рыбного хозяйства, лесоводства и других видов хозяйственной деятельности.

В эволюции биосферы неоднократно происходила перестройка флоры и фауны, вызванная изменением абиотических и биотических условий. Пока окружающая среда оставалась относительно постоянной, продолжали существовать виды, приспособленные к ней. При существенных изменениях условий среды сразу обнаруживается качественная неравноценность видов в отношении к новым факторам. Виды, не способные продолжать существование вымирали. В *кайнозое* в результате геологических преобразований строение поверхности Земли приблизилось к современному состоянию. На суше

продолжалось развитие покрытосеменных растений – лиственных деревьев, появились злаки. Усилилось формообразование у млекопитающих, птиц, насекомых. *Четвертичный период* характеризуется двумя важными событиями. Крупным оледенением всего северного полушария и появлением человека. В течение четвертичного периода сформировалась современная структура биосферы.

*В целом, эволюция живой природы сопровождалась постоянным усложнением биосферы.* Нарастанием многообразия и сложности экосистем и повышением ее устойчивости. За всю историю Земли по приблизительным расчетам существовало примерно 500 миллионов видов живых организмов. Современная биосфера включает около 2,5 миллионов видов. Вмешательство человека в природные процессы приводит к серьезным изменениям в состоянии биосферы. Академик Вернадский считал, что биосфера должна постепенно превращаться в ноосферу, или сферу разума (греч. нооз – разум). Понятие «ноосфера» отражает будущее состояние рационально организованной природы. Это новый этап развития биосферы, когда ее эволюция будет направляться разумом человека для обеспечения гармонии в сосуществовании природы и общества.

*Органический мир Земли* на высшем таксономическом уровне организации живого вещества делится на два надцарства: прокариоты и эукариоты. Первые включают два царства: архебактерии и бактерии, вторые – три царства: животные, грибы и растения. Это деление основано на закономерностях эволюционного развития и клеточного строения организмов.

### ***Общая характеристика и особенности атмосферы, гидросферы и литосферы.***

Биосфера не может функционировать без тесного взаимодействия с атмосферой, гидросферой и литосферой, в пределах которых возможно распространение жизни. *Атмосфера* – это газовая оболочка Земли с содержащимися в ней аэрозольными частицами, движущаяся вместе с Землей в мировом пространстве как единое целое и одновременно принимающая участие во вращении Земли. На дне атмосферы в основном протекает вся наша жизнь. С высотой плотность воздуха убывает, и атмосфера постепенно переходит в космическое пространство. Половина всей массы атмосферы сосредоточена в нижних 5 км, три четверти – в нижних 10 км, девять десятых – в нижних 20 км. Но присутствие воздуха обнаруживается до очень больших высот. Последний этап развития азотно-кислородной атмосферы связан с появлением жизни на Земле и возникновением фотосинтеза. Содержание кислорода стало возрастать. В конце девонского и в каменноугольном периодах усиливаются процессы вулканизма и развитие наземной растительности. Это приводит к резкому увеличению содержания кислорода в атмосфере. В начале юрского периода его концентрация, превышала современный уровень в 1,5 раза. В середине мелового периода произошло снижение концентрации кислорода до современного уровня. Параллельно с этим атмосфера почти полностью потеряла двуокись углерода. В настоящее время *чистый и сухой воздух* на

уровне моря состоит из азота (78,08 %), кислорода (20,94 %), аргона (0,93 %), углекислого газа (0,03 %) и других газов (0,02 %).

Атмосфера защищает органический мир Земли от воздействия ультрафиолетовой солнечной радиации, космических лучей различного происхождения и бомбардировки метеоритами. Оказывает благоприятное воздействие на климат Земли, предохраняя ее от чрезмерного охлаждения и нагревания. Воздух атмосферы необходим для дыхания всему живому. Без атмосферы невозможно распространение звука и полеты самолетов без использования реактивных сил. В атмосфере формируются все погодные условия, в которых живет и работает человек. Без нее не было бы осадков, ветра, сумерек, полярных сияний и никаких других метеорологических явлений.

В атмосфере происходят многообразные физические процессы, непрерывно изменяющие ее состояние. Физическое состояние атмосферы у земной поверхности и в нижних 30-40 км в данный момент времени называется *погодой*.

*Погода* характеризуется метеорологическими величинами (температура, давление, влажность воздуха, ветер, облачность, атмосферные осадки) и атмосферными явлениями (гроза, туман, пыльная буря, метель и др.). Изменения погоды оказывают влияние на многие области хозяйственной деятельности человека и, особенно на сельское хозяйство. В любом месте земли погода меняется по-разному. Однако при всех различиях отдельных дней, месяцев и лет каждую местность можно характеризовать определенным климатом.

*Климат* зависит от географического положения местности (широта, долгота и высота над уровнем моря) и особенности земной поверхности (рельеф, почвенный покров и др.). В пределах от нескольких десятков до нескольких сотен лет климат обладает определенной устойчивостью. В XX веке существенное влияние на климат стала оказывать хозяйственная деятельность человеческого общества. Источником энергии атмосферных процессов является солнечная радиация, приходящая к Земле от Солнца. Количество тепла, получаемое в среднем за год земной поверхностью от Солнца, в 30 000 раз больше, чем тепло, идущее из недр Земли, и в 30 млн раз больше, чем энергия от излучения звезд и планет.

*Основные климатообразующие процессы* – это теплооборот, влагооборот и атмосферная циркуляция. *Теплооборот* включает сложные процессы получения, передачи, переноса и потери тепла в системе «земля-атмосфера». Кроме теплооборота между земной поверхностью и атмосферой происходит постоянный оборот воды, или *влагооборот*. Неравномерное распределение тепла в атмосфере приводит к неравномерному распределению атмосферного давления. Оно вызывает движение воздуха относительно земной поверхности которое называется ветром. Систему крупномасштабных воздушных течений на Земле называют *общей циркуляцией атмосферы*. Основными элементами общей циркуляции атмосферы являются циклоны и антициклоны, т.е. волны и вихри размером в несколько тысяч километров, постоянно возникающие и

разрушающиеся в атмосфере. С воздушными течениями в системе общей циркуляции атмосферы связаны основные изменения погоды и климата.

Кроме климатообразующих процессов формирование климата и погоды определяют *астрономические и географические факторы*. *Астрономические факторы* – это светимость Солнца, положение и движение Земли в Солнечной системе, наклон оси вращения Земли к плоскости орбиты и скорость вращения Земли вокруг своей оси. Все эти факторы определяют количество и распределение солнечной энергии, поступающей на Землю. К *географическим факторам* относятся: размеры и масса Земли, величина силы тяжести, масса и состав атмосферы, географическое распределение материков и океанов, рельеф поверхности суши и дна океанов, масса и состав океана, характер поверхности суши.

Распространение жизни в атмосфере ограничивается в основном ее нижним слоем – *тропосферой*. Высота тропосферы колеблется от 8-10 км на полюсах до 18-20 км на экваторе. *Например*, верхняя граница полета птиц находится на высоте около 7 км; насекомые в воздушной среде поднимаются не выше 6 км. Фотосинтезирующие растения не растут в горах выше 6 км из-за низкого содержания углекислого газа и отсутствия воды.

*Концентрация озона (O<sub>3</sub>)*, который образуется из кислорода под действием солнечной радиации, на высоте 20-22 км максимальна. В то же время содержание озона крайне мало и составляет около  $1 \cdot 10^{-4}$  % от газового состава атмосферы. Тем не менее молекулы озона формируют вокруг планеты защитный экран, предохраняющий все живое на Земле от губительного действия ультрафиолетового излучения Солнца. Вертикальное распространение живых организмов в атмосфере за пределы озонового слоя лимитируется ультрафиолетовой радиацией, убивающей всё живое.

В качестве примеси в атмосфере в большом количестве содержатся *водяные пары*. Они вместе с углекислым газом, метаном, оксидами азота (парниковые газы) участвуют в нагревании нижнего слоя атмосферы, формируя парниковый эффект. *Суть парникового эффекта* состоит в способности атмосферы пропускать к поверхности Земли солнечные лучи и с помощью парниковых газов поглощать отраженное от нее тепловое излучение. В результате с увеличением высоты температура атмосферы снижается, а ее нижние слои остаются теплыми. В результате естественного парникового эффекта средняя температура поверхности Земли равна плюс 15 °С, а без парникового эффекта она была бы минус 18 °С.

*Воздух как среда жизни обладает определенными особенностями*. Достаточное содержание кислорода (21 %) определяет высокий уровень энергетического метаболизма. В этой среде появились гомойотермные животные, отличающиеся высоким уровнем энергетики и биологической активности. С другой стороны, в этой среде отмечается низкая и изменчивая влажность. Это лимитировало возможности освоения воздушной среды, а у ее обитателей определило эволюцию свойств водно-солевого обмена и органов дыхания. Низкая плотность атмосферы определяет связь организмов с субстратом, поэтому жизнь сосредоточена вблизи поверхности Земли, проникая

в толщу атмосферы на высоту 50-70 м (кроны деревьев в тропиках). Высокогорье лимитирует процессы, связанные с давлением: в Гималаях растительность достигает 6200 м – выше растения-фотосинтетики не растут. Временное пребывание живых организмов в атмосфере доходит до 10-11 км. Птицы обычны на высотах до 1-3 км. Летающие насекомые встречаются примерно до тех же высот, а заносимые воздушными течениями бактерии, споры, простейшие – до 10-15 км. *В целом, верхней границей распространения жизни в атмосфере следует считать высоту 8-10 км.*

Прозрачность атмосферы способствует тому, что до поверхности планеты доходит 47 % падающего солнечного света. Немногом менее 50 % составляет фотосинтетически активная радиация (ФАР) с длиной волны 380-710 нм. Эта часть светового потока составляет энергию фотосинтеза – процесса, в котором создается органическое вещество (главным образом, углеводы) из неорганических составляющих. На нем основывается возможность биологического круговорота веществ. Надземные части фотосинтезирующих растений принадлежат к этой среде, а корневая система расположена в почве, т. е. обеспечение водой и минеральными веществами происходит в другой среде обитания.

*Гидросфера* – водная оболочка Земли. Она включает все океаны, моря, реки, озера, болота, ледники, подземные воды. В состав гидросферы входит вода в атмосфере, почвенная влага и вода живых организмов. Вода в гидросфере находится в жидком, твердом и газообразном состоянии. Гидросфера проникает во все другие геосферы. Она играет важную роль в глобальных процессах обмена веществом и энергией. В природе вода находится в центре большинства взаимосвязей. Водяной пар в атмосфере необходим для создания первичной биологической продуктивности. Почвенная влага обеспечивает процесс создания биомассы Земли. Вода – это индикатор состояния окружающей среды и важнейший природный ресурс. Глобальный круговорот воды является одним из главных процессов в географической оболочке. Он служит основой единства географической оболочки и обеспечивает всемирный обмен веществом и энергией

Физические свойства воды весьма специфичны: большие величины скрытой удельной теплоты фазовых переходов (испарения, конденсации, таяния, сублимации), значительная теплоемкость, малая молекулярная теплопроводность, сложная зависимость плотности от температуры и др. Особую роль в глобальных процессах играет высокая величина скрытой удельной теплоты испарения-конденсации. Около 84% солнечной радиации, поглощаемой поверхностью Земли, расходуется на испарение. Это, в свою очередь, обеспечивает влагоперенос и круговорот воды. Другое очень важное физическое свойство воды – это ее высокая теплоемкость, определяющая многие природные процессы.

*В наиболее общем виде принято деление гидросферы на Мировой океан, континентальные и подземные воды.* Жизнь в гидросфере распространяется фактически на всю глубину, включая донные отложения. Гидросфера имеет максимальную глубину (до 11 км) в Мировом океане – Марианская впадина

Тихого океана. Растения и связанные с ними растительные животные концентрируются в верхних слоях океана на глубинах до 300 м. Это связано с тем, что лимитирующим фактором распространения жизни в гидросфере для автотрофных организмов является достаточное для фотосинтеза количество света, способное проникать в водную среду. Кроме того, существует комплекс глубоководных животных, обитающих на больших глубинах. Это гетеротрофные организмы, потребляющие готовое органическое вещество, выпадающее в виде осадка из верхних слоев гидросферы (продукты жизнедеятельности живых организмов, мертвая органика и т. д.). В условиях отсутствия освещенности могут жить некоторые черви, полипы, а также протисты и микроорганизмы. На дне океанов встречаются *хемотрофные* бактерии, получающие энергию за счет окисления химических соединений – водорода, серы, жиров, парафинов и др. Наличие в воде растворенных и взвешенных веществ имеет значение как трофический фактор, а выделение в воду продуктов метаболизма не только освобождает организм от ненужных веществ, но и используется водными животными как средство химической коммуникации.

*Большое экологическое значение имеют высокая плотность и вязкость воды.* Плотность воды в 800-1000 раз выше плотности воздуха. В результате этого гидробионты имеют специфическую форму тела, которая позволяет снизить лобовое сопротивление и повысить эффективность энергозатрат. В гидросфере сложились комплексы организмов, парящих в воде. Это определило распространение жизни в гидросфере по всей ее толщине, даже в самых глубоководных впадинах (свыше 11 км). Здесь, в условиях полной темноты, колоссального давления (100 и более атмосфер), обнаружены сообщества, включающие бактерий, одноклеточных и многоклеточных бактерий.

Вода отличается низким содержанием растворенного кислорода, количество которого в 20-23 раза ниже, чем в воздухе, и составляет 10-12 мл/л. Прозрачность воды определяет формирование специфической окраски: прозрачность тела, почти полное отражение света и т.п. Гидробионты обладают рядом особенностей размножения: пассивное рассеяние гамет, отсутствие опылителей, использование течений для расселения личинок и т. п. В этой среде образовались жизненные формы, приспособленные к парению в толще воды.

Каждый водоем имеет определенное структурное деление, свои *экологические зоны*. В соответствии с этим делением водоемов на *бенталь* (область дна) и *пелагиаль* (толща воды). Все водные организмы подразделяются на *бентос* (донные) и *пелагос* (в толще воды). Эти сообщества содержат пассивно парящие в толще воды формы (*планктон*) и активно плавающих животных (*нектон*). Особую группу составляют организмы, обитающие на границе водной и воздушной сред (*нейстон*). Еще одна группа (*плейстон*) характеризуется тем, что часть их тела находится в воде, а часть – в воздухе (напр., ряска).

Бентические организмы материковой отмели формируют сообщества *литорали*, которая подразделяется на *супралитораль* (зона брызг во время

прибоя), собственно *литораль* (зона приливов и отливов) и *сублитораль* (материковая отмель до глубины около 200 м). Литоральная зона хорошо выражена также в озерах. Ниже литорали лежит *профундаль* – зона дна ниже глубины проникновения света, достаточного для фотосинтеза. Крутой материковый склон океана заселен представителями батимальной (до 6000 м), абиссальной и ультраабиссальной фауны. Растения здесь отсутствуют.

В океане и крупных озерах зона деятельности фотосинтезирующих растений определяется глубиной проникновения солнечного света. Эту зону называют *эуфотической*, ее глубина достигает примерно до 200 м. Вся масса живых организмов, обитающих в более глубоких слоях, использует органические вещества, синтезированные в этой зоне. Это могут быть живые организмы и их останки, экскременты, слизь и т.п. Таким образом, все население толщи воды от поверхности до дна представляет собой единую трофическую систему. С *рифтовой зоной* (зона разломов земной коры) связаны особые экосистемы, основанные на хемосинтезе. Эти сообщества концентрируются в районах геотермальных источников, поставляющих сероводород. Бактерии, утилизируя сероводород, являются начальным этапом круговорота веществ.

*Континентальные водоемы* отличаются меньшими глубинами и большим диапазоном солености. По характеру подвижности водных масс различают *стоячие и текущие воды*. Стоячие водоемы (озера, пруды) подразделяются на пресные и соленые (до 300 ‰). Текущие воды подразделяются по скорости течения. Экологическая роль этого фактора велика: им определяется возможность закрепления организмов на субстрате и трофические возможности организмов-реофилов. Существуют также *временные водоемы* (лужи).

*Литосфера* – внешняя твердая оболочка Земли. Это верхняя часть земной коры, ее «каменная оболочка». Литосфера является геологической основой ландшафта, почв, средой обмена веществом и энергией с атмосферой, и поверхностной гидросферой. Через нее осуществляется круговорот воды в природе. Она служит накопителем пресных вод, обеспечивает процессы жизнедеятельности земной биоты. Под *геоэкологическими функциями* литосферы понимается все многообразие свойств, определяющих ее роль в жизнеобеспечении биоты и человеческого общества. Их можно свести к четырем основным группам: ресурсной, геодинамической, геофизической и геохимической.

*Ресурсы литосферы, необходимые для жизни биоты*, включая человека как биологический вид, представлены тремя составляющими:

- 1) горными породами, включающими в себя растворимые элементы, жизненно необходимые организмам и называемые биогенными элементами;
- 2) кудюритами (от алтайского «кудюр» – место, где животные едят землю) – минеральными веществами, являющихся пищей животных;
- 3) подземными водами.

*Биогенные элементы* и их соединения, требующиеся биоте в больших количествах, называют макробиогенными (кислород, углерод, водород, азот, калий, кальций, магний, натрий, фосфор, сера, хлор), а в малых количествах –

микробиогенными. (бор, бром, ванадий, железо, кремний, марганец, медь, молибден, цинк). Они обеспечивают растениям функции фотосинтеза, метаболизма и азотного обмена. Животным необходимы перечисленные элементы (кроме бора), а также йод, кобальт, никель, олово, селен, фтор, хром. *Кудюриты* – любые виды минералов, используемые животными в качестве источников кальция и микроэлементов. В организме животных они играют роль регуляторов минерального и кислотно-основного баланса. *Подземные воды* являются основой существования биоты. В течение всего 7–10 млн лет она пропускает через себя такое количество воды, которое по объему равно Мировому океану.

### ***Почва как среда жизни.***

*Почвой* называется поверхностный слой земной коры, возникающий в результате преобразования коры выветривания водой, воздухом и живыми организмами и обладающий свойством плодородия. Почва состоит из минеральных частиц (разрушенных горных пород), почвенной влаги, почвенного воздуха, организмов и гумуса. *Гумус* – основная часть органического вещества почвы, определяющая почвенное плодородие. В гумусе содержатся важнейшие элементы питания растений – азот, фосфор, сера, калий. Под воздействием микроорганизмов эти элементы становятся доступными для растений. В экологии употребляется понятие «*эдафосфера*» (почвенная оболочка Земли) вместо «литосфера».

В процессе почвообразования формируются почвенные горизонты – слои почвы, различающиеся по цвету, структуре, содержанию гумуса, гранулометрическому составу. Важнейшим процессом, обеспечивающим дифференциацию почвенного слоя на горизонты, является вертикальное перераспределение веществ при перемещении влаги и почвенных растворов, перемещении питательных веществ корнями растений и т. д. Мощность отдельных почвенных горизонтов составляет от нескольких сантиметров до нескольких десятков сантиметров, а мощность всего почвенного слоя – до нескольких метров.

*Основные факторы почвообразования.* Почва формируется под воздействием и влиянием: почвообразующих пород, растительных и животных организмов, климата, рельефа местности, почвенно-грунтовых вод, времени формирования, хозяйственной деятельности человека. *Почвообразующие породы.* Почвообразующие породы представляют собой субстрат, на котором происходит формирование почвы. Характер и степень выраженности почвообразовательного процесса в значительной мере предопределяется химическим и механическим составом горных пород.

*Материнские породы* определяют гранулометрический (механический), химический и минералогический состав почвы, ее физические, физико-химические и другие свойства. Кроме того, *почвообразующие породы* влияют на скорость почвообразовательного процесса и мощность почвенных профилей; уровень плодородия, прямо зависящий от исходного состава пород, богатых

или бедных химическими элементами; структуру почвенного покрова, ее мозаичность, сложность и контрастность.

*Растения* в процессе своей жизнедеятельности синтезируют органическое вещество. Все живое, отмирая, образует органический опад, из которого под влиянием микроорганизмов формируется гумус. Растения аккумулируют химические элементы, содержащиеся в почвообразующих породах. После отмирания растений и разложения их остатков эти химические элементы остаются и обогащают почву. Микроорганизмы минерализуют органические вещества, делая их вновь доступными для растений. В отсутствие микроорганизмов разложение происходило бы очень медленно.

*Жизнедеятельность животных*, их связь с почвой и участие в почвообразовании могут быть различными. Они живут в самой почве или на ее поверхности, либо над поверхностью почвы. Животные перерабатывают почву, удобряют ее и изменяют растительный покров. В этом процессе активно участвуют дождевые черви, личинки двукрылых, сурки, суслики, кроты.

*Климат* – один из важнейших факторов почвообразования. Он влияет на характер и интенсивность выветривания почвообразующих пород. От него зависят температура почвы и в значительной мере насыщение ее влагой. Климатические условия определяют широтную зональность почв и регулируют биологические процессы почвообразования.

*Рельеф* как почвообразующий фактор определяет изменение климатических условий, влияет на распределение температуры и осадков. Он обуславливает вертикальную зональность почв в горах. Изменение их свойств и структуры на склонах разной экспозиции, крутизны и формы. С рельефом связаны перераспределение влаги, уровень грунтовых вод. На склонах происходит смыв почвы и накопление смытого гумуса в понижениях рельефа. При стоке воды по склонам растворимые химические элементы вымываются и выносятся вниз.

*Почвенно-грунтовые воды* обеспечивают многочисленные химические и биологические процессы в почве. Грунтовые воды обогащают почву содержащимися в них химическими соединениями, в отдельных случаях вызывают засоление. В результате действия грунтовых вод формируются особые почвы. В переувлажненных почвах недостаточное количество кислорода подавляет деятельность некоторых групп микроорганизмов.

*Время* – это особый фактор почвообразования. Все процессы, протекающие в почве, совершаются во времени. Каждый тип почв имеет свой возраст. Образываясь в течение тысячелетий, они отличаются проработанностью генетических горизонтов и мощностью гумуса.

*Хозяйственная деятельность человека.* Человек сознательно и активно вмешивается в процесс почвообразования путем орошения или осушения почв, механической обработки и введения в них различных удобрений и т.п. Влияние природных факторов на почву определяется естественными закономерностями. Человек в процессе своей хозяйственной деятельности действует на почву направленно, изменяет ее в соответствии со своими потребностями. Изменение факторов почвообразования происходит в результате преобразования

человеком почвообразующих пород, изменении форм рельефа, климата и биоты.

*Пространственно-временные закономерности формирования почвенного покрова.* Отдельные почвенные разновидности, взаимодействуя между собой, образуют почвенный покров Земли. Как и растительность, почвенный покров отражает в своем распределении климатическую зональность, но не повторяет ее с абсолютной точностью. Это обусловлено с тремя факторами. *Во-первых*, почвенный покров зависит не только от климата, но и от горных пород, биоты, рельефа и других географических компонентов. *Во-вторых*, почва изменяется значительно медленнее, чем климат и растительность. *В-третьих*, почва – саморазвивающаяся система и определенные тенденции ее развития происходят независимо от окружающей среды.

*Роль почв в формировании природного разнообразия Земли.* Почвы обеспечивают циклический характер воспроизводства жизни на земной суше. Они выполняют разнообразные экологические функции. Физические свойства почв создают особые условия для обитания мелких животных, микроорганизмов и функционирования корневой системы растений. *Химические и физико-химические свойства*, обеспечивают поглощательную способность почв (поглощают различные вещества из раствора, проходящего через нее, и удерживают их), деструкцию и минерализацию органических остатков, образование минерального и органического веществ (гумус, ферменты), возврат элементов питания в доступной форме корням растений.

*Почва состоит из:* твердой, жидкой и газообразной компонент. *Твердая компонента* преобладает в почве и представлена органической и минеральными частями. Органическая часть представлена *гумусом* – сложным органическим веществом, образовавшимся в результате физико-химического разложения отмершей органики. Самые богатые гумусом почвы – черноземы. *Жидкая компонента* – вода, может быть свободной, связанной и парообразной. *Свободная вода* перемещается по порам под действием силы тяжести, *связанная* адсорбируется поверхностью почвенных частиц и образует на них пленку, а *парообразная* находится в той части пор, которая свободна от воды. Доступной для растений является свободная вода, труднодоступная – связанная (пленочная) вода, а парообразная влага большой роли не играет. Всю жидкую компоненту почв называют *почвенным раствором*. Он может содержать нитраты, фосфаты, сульфаты и другие соли, а также водорастворимые органические кислоты. Концентрация раствора зависит от влажности почвы.

*Химические свойства почв.* Состав и концентрация раствора почвы определяют реакцию среды, показателем которой является величина рН. Наиболее благоприятной для растений и почвенных животных является нейтральная среда (рН=7). В сухом климате преобладают нейтральные и щелочные почвы, во влажных районах кислые.

*Физические свойства почв.* *Влажность*, а точнее доступная влажность для растений, которая зависит от всасывающей силы корневой системы растений и от физического состояния воды. Доступность влаги зависит от *водоудерживающей способности почв*. *Температура почвы* зависит от внешней

температуры, но благодаря низкой теплопроводности почвы, температурный режим довольно стабилен, и уже на глубине 0,3 м амплитуда колебания температуры менее 2 градусов. *Структура и пористость* почвы обеспечивают ее хорошую аэрацию. В плотных почвах затрудняется аэрация и кислород может стать лимитирующим фактором.

*Почвы являются связующим звеном между геологическим и биологическим круговоротами веществ в наземных биогеоценозах.* Особое значение имеет биологическая продуктивность почв, называемая в сельском хозяйстве плодородием. Почва является совершенно уникальной средой обитания самых разнообразных видов и форм животных, растений и микроорганизмов. Здесь обитают беспозвоночные животные и простейшие одноклеточных существа: дождевые черви, многоножки, личинки насекомых, мелкие клещи, бескрылые насекомые, коловратки, жгутиконосцы, амебы, мелкие круглые черви. При этом каждому типу и виду почв свойственны определенные и только для них характерные виды и сообщества растений, животных и микроорганизмов. Почвенная биота представлена фауной (дождевые черви, мокрицы, нематоды) и флорой (грибы, бактерии, водоросли).

*Плодородие почвы* – ее способность удовлетворять потребности растений в питательных веществах, воздухе, биотической и физико-химической среде, включая тепловой режим и на этой основе обеспечивать урожай сельскохозяйственных культур. Различают *искусственное плодородие* – результат агрономического воздействия на почву, и *естественное плодородие*, обусловленное естественными экологическими факторами почвы.

*Границы распространения жизни в почве* невелики: микроорганизмы встречаются по всей ее толщине (обычно несколько метров), растения связаны с наружными горизонтами корневой системой (до 8-10 м, в пустыне – до 50 м). Беспозвоночные животные обитают в верхних горизонтах почвы. Норы и ходы грызунов, некоторых насекомых и червей проникают в почву на 5-7 м. Разнообразие форм жизни в почвах настолько велико, что их называют «основным хранилищем генетического разнообразия жизни на нашей планете» и «экологическим щитом биосферы». Без сохранения почв и их разнообразия невозможно сохранить и биологическое разнообразие на Земле.

*Почвы классифицируются по типам:* черноземы, торфяно-болотные, дерново-подзолистые, тундрово-глеевые и др. и по видам: песчаные, супесчаные, суглинки, глинистые и др. Характер почвообразовательного процесса отражается в почвенном профиле. В нем выделяют несколько *горизонтов*: лесной или степной войлок, перегнойно- аккумулятивный, или гумусовый, вымывания и материнская порода. *Лесная подстилка, или степной войлок, дернина*, где идет разложение органических частиц, отмерших частиц растительного и животного происхождения. *Перегнойный (гумусовый)* горизонт богат органическими веществами, которые постоянно вымываются вертикальными потоками влаги. Почвенные органические вещества содержат лигнин, клетчатку, эфирные масла, смолы, дубильные вещества и др. *Элювиальный горизонт* (горизонт вымывания питательных веществ). *Иллювиальный горизонт* (горизонт вымывания вещества из вышележащих слоев

почвы). *Материнская порода* (исходная в образовании почвы, определяет ее физико-химические свойства, механический состав).

*Основные типы почв:* 1. Тундровая глеевая. 2. Торфяно-болотная. 3. Подзолистая. 4. Дерново-подзолистая. 5. Болотно-подзолистая. 6. Серая лесная. 7. Чернозем типичный. 8. Лугово-черноземная. 9. Каштановая. 10. Бурая пустынно-степная. 11. Солонец. 12. Солончак. 13. Серозем. 14. Желтозем. 15. Краснозем. 16. Аллювиально-дерновая.

*Засоленными* называют почвы с избыточным содержанием водорастворимых солей (хлоридов, сульфатов, карбонатов). Среди засоленных почв выделяют солончаки и солонцы, в последних преобладают карбонаты натрия (эти почвы щелочные и  $pH = 8-9$ ). Солеустойчивые растения называются галофитами. Дождевые черви даже при невысокой степени засоления длительно их выдерживать не могут.

### **1.1.3. Живое вещество биосферы**

#### ***Основные компоненты биосферы.***

Основными компонентами биосферы являются: *живое, косное, биогенное и биокосное вещества*. *Живое вещество* – совокупность всех живых организмов на Земле с их способностью к размножению и распространению на планете, к борьбе за пищу, воду, территорию, воздух. На живое вещество (по массе) приходится ничтожная доля по сравнению с массой Земли. Для живого вещества характерны рост, активное перемещение, стремление заполнить все окружающее пространство. Кроме того, живому веществу присущи удивительное разнообразие форм, размеров и химического состава и эволюции. *Косное вещество* представлено минералами (алмаз, изумруд, кварц и др.) и горными породами (гранит, мрамор и др.), образование которых происходило и происходит без участия живого вещества. Эти процессы связаны, например, с выветриванием горных пород, их механическим разрушением, извержениями вулканов. Между косным и живым веществами существует неразрывная взаимосвязь. Например, она осуществляется в процессе дыхания живого вещества, когда происходит перемещение атомов из косных компонентов биосферы в живые и обратно. По массе косное вещество биосферы многократно превосходит массу живого вещества. *Биокосное вещество* является особым веществом биосферы. Оно представлено почвой, всеми природными водами, корой выветривания, которые являются результатом непрерывного взаимодействия живого вещества с косным. *Биогенное вещество* происходит от живого вещества в результате его жизнедеятельности или отмирания.

Проявлением деятельности живого вещества по преобразованию земной коры является его участие в создании осадочных пород органического происхождения (каменный уголь, различные руды, известняки, нефть). Основной характеристикой живого вещества является биомасса. *Биомасса* представляет собой общую массу животных, растений и микроорганизмов, присутствующих в биосфере. Полная биологическая масса Земли оценивается

приблизительно в 2420 млрд т. Биомассы живого вещества (зеленых растений, животных и микроорганизмов) на суше материков и в Мировом океане существенно различаются. Наибольшая масса живых организмов биосферы сосредоточена на материках (более 99,7 %). Вклад океанической части в общую биомассу невелик (около 0,3 %). На суше значительно преобладает живое вещество растений (99,2%), в океане – животных (более 93,7 %). В то же время при сравнении их абсолютных значений: 2400 млрд т растений и 3,0 млрд т животных – видно, что живое вещество на планете в подавляющем большинстве представлено наземными зелеными растениями. Биомасса гетеротрофных организмов составляет всего около 1 %.

Образование и распределение биомассы в биосфере подчиняется определенным общим закономерностям. *Первая - концентрация биомассы в зонах контактов контрастных сред.* Главной контактной зоной является граница суши и океана с атмосферой. Здесь толщина слоя, в котором сосредоточена основная масса живых организмов, составляет до нескольких десятков метров. Другие контактные зоны: льдов и морской акватории, береговая зона моря, морское дно, берега рек и т. д. *Вторая – основная часть биомассы сосредоточена на суше.* Здесь биомасса примерно в 200 раз больше, чем в океане. По величине сухого органического вещества материка превосходят океаны примерно в 750 раз. На суше фитомасса в 120 раз превышает зоомассу. В океане зоомасса больше фитомассы примерно в 15 раз. Среди животных и растений океана по массе преобладает планктон.

*На суше* величина биомассы зависит от условий обеспеченности территории теплом и влагой. Максимальная биомасса соответствует зоне влажных тропических лесов. От этого максимума биомасса убывает в трех направлениях. В сторону тропических пустынь, где рост живых организмов ограничивается дефицитом влаги. В сторону полярных районов и высокогорий, где недостаточно тепла.

*В океане* для распределения биомассы характерны другие закономерности. Живые организмы океана по типу местообитания и образу жизни объединяются в три группы: 1) планктон – пассивно перемещающиеся одноклеточные водоросли и некоторые виды животных (одноклеточные, рачки, медузы и др.); 2) нектон – активно передвигающиеся животные (рыбы, китообразные, головоногие моллюски и др.); 3) бентос – организмы, живущие на дне. *Растительные организмы* в океане развиваются преимущественно в слое вод от поверхности до глубины проникновения света около 400 м. Всего насчитывается около 10 тыс. видов морских растений. Преобладают водоросли микроскопических форм (планктон). Но есть и крупные, длиной до нескольких десятков метров (ламинариевые водоросли). *Животные* распространены во всех слоях океана (около 160 тыс. видов). Среди них преобладают простейшие, моллюски, ракообразные, рыбы. Небольшие значения биомассы характерны для тропических морей и центральной части Северного Ледовитого океана. Высокие показатели биомассы соответствуют районам умеренного пояса в северной части Атлантического и северо-западной части Тихого океана.

*Биомасса почвы* – совокупность живых организмов, обитающих в почве и играющих ведущую роль в процессе ее формирования. В почве много микроорганизмов, протистов, червей, разлагающих органическое вещество. В поверхностных слоях живут зеленые водоросли и цианобактерии, снабжающие почву кислородом в процессе фотосинтеза. Кроме того, в почве обитают муравьи, клещи, кроты, сурки, суслики и др. Все они ведут большую почвообразовательную работу, создавая плодородие почвы, а после гибели становятся источником органического вещества для бактерий. Биомасса почвы, подобно растительной биомассе, имеет тенденцию к увеличению от полюсов к экватору.

### ***Основные функции живого вещества на Земле.***

*Основные функции живого вещества на Земле:* энергетическая, газовая, окислительно-восстановительная, концентрационная, средообразующая, деструктивная, транспортная, информационная.

*Энергетическая функция* – аккумуляция энергии при фотосинтезе и передача её по цепям питания. Энергия является необходимым условием существования и развития биосферы. Энергетическая функция реализуется, прежде всего, зелеными растениями. Главным поставщиком энергии в биосферу является Солнце. Растения в процессе фотосинтеза аккумулируют солнечную энергию в химических связях разнообразных органических соединений и в дальнейшем перераспределяют ее между всеми компонентами биосферы. Следует отметить, что из всего количества поступающей в биосферу солнечной энергии только около 1 % используется продуцентами в процессе фотосинтеза и далее передается потребителям в составе органического вещества. Остальная солнечная энергия поглощается атмосферой, гидросферой и литосферой, а также участвует в протекающих в биосфере физических и химических процессах (движение воздушных масс, выветривание горных пород и др.).

*Газовая функция* – способность поддерживать определённый газовый состав атмосферы. Она обеспечивается постоянно протекающим газообменом кислорода и углекислого газа между живыми организмами и окружающей средой в процессе фотосинтеза и дыхания. Такие газы, как азот, сероводород, метан, также могут являться продуктами жизнедеятельности живых организмов и иметь биогенное происхождение. Именно благодаря живым организмам в атмосфере нашей планеты поддерживается постоянство газового состава.

*Окислительно-восстановительная функция* – обогащение окружающей среды кислородом и разложение органических веществ. Она определяется многообразными химическими реакциями, протекающими в организме в процессе его жизнедеятельности. В процессе синтеза органических веществ преобладают восстановительные реакции и происходят затраты энергии. А в процессе окисления и расщепления в присутствии кислорода преобладают окислительные реакции с выделением энергии. Таким образом, жизнь в биосфере представляет собой непрерывный синтез и распад органических веществ, которые объединяют все живые организмы на Земле.

*Концентрационная функция* – избирательное накопление живым веществом химических элементов, рассеянных в окружающей среде. Например, панцири диатомовых водорослей, скелеты животных, раковины моллюсков – всё это проявления концентрационной функции живого вещества. Образование биогенного вещества биосферы в виде залежей полезных ископаемых также является результатом концентрационной функции живого вещества.

*Средообразующая функция* – образование почвы, изменение физических и химических параметров окружающей среды. Современная структура биосферы и границы, в которых существуют живые организмы, формировались длительное время, начиная с момента возникновения первых организмов (кишечнополостные, некоторые виды червей и др.) и до наших дней.

Каждый период эволюции биосферы характеризуется определенным комплексом экологических факторов среды и совокупностью организмов. Наша планета появилась около 5 млрд лет назад. В то время температура земной поверхности была выше 100 °С, и жизнь на Земле существовать не могла. Снижение температуры способствовало формированию водной оболочки планеты – гидросферы. Появление живого вещества в гидросфере способствовало формированию биологического круговорота вещества. На этом этапе формирования биосферы важная роль принадлежала бактериям с различными способами питания (фото- и хемоавтотрофам, фото- и хемогетеротрофам). Она состояла, прежде всего, в разложении мертвого органического вещества до биогенов, которые возвращались обратно в биологический круговорот. Древние фотосинтезирующие бактерии (цианобактерии) насыщали гидросферу кислородом. В дальнейшем, в результате роста и размножения автотрофов, количество кислорода возрастало, он начал выделяться в атмосферу и распространяться в ней. За счет кислорода в верхних слоях атмосферы появился озон. Этот факт совместно с образованием озонового экрана позволил организмам выйти на сушу – началось формирование наземной флоры и фауны. Первые наземные растения (псилофиты) путем фотосинтеза образовали первичное органическое вещество суши, которое стало служить пищей гетеротрофным организмам (животным). Так сформировалась наземно-воздушная среда обитания. Таким образом, живые организмы постепенно преобразовывали физико-химические параметры окружающей среды, делая ее благоприятной для существования. В то же время жизнь в гидросфере продолжала развиваться и была представлена цианобактериями и красными водорослями, а также почти всеми типами животных. Глубоководные организмы, постепенно продвигаясь всё глубже ко дну, заселили всю гидросферу. Следующие этапы эволюции биосферы проходили в направлении бурного *развития и распространения жизни на суше*. Появились мхи, древовидные плауны, хвощи, папоротники, голосеменные растения, на смену которым пришли покрытосеменные, быстро распространившиеся по всей планете. Первыми животными суши были пауки и скорпионы. В период около 300 млн лет назад появились первые земноводные. В дальнейшем, приблизительно 150 млн лет назад, массового распространения и процветания достигли пресмыкающиеся: динозавры, древние черепахи и

крокодилы. Около 50 млн лет назад появились птицы и млекопитающие. Биосферная роль животных связана с их гетеротрофным типом питания и способностью к передвижению. Они потребляют органическое вещество, создаваемое растениями, перемещают его на значительные расстояния, способствуя распространению плодов, семян, спор. Завоевание суши живыми организмами привело к значительному росту биомассы живого вещества, которая в настоящий момент многократно превышает океаническую биомассу.

*Деструктивная функция* – разрушение остатков органического вещества и косных веществ с вовлечением их в общий круговорот вещества.

*Транспортная функция* – перенос вещества и энергии в результате активного передвижения организмов.

*Информационная функция* – накопление информации, закрепление её в наследственных структурах и передача следующим поколениям.

В результате осуществления этих функций биосфера поддерживает стабильное функционирование географической оболочки, обеспечивает сохранение среды жизнедеятельности человека несмотря на постоянно возрастающее антропогенное воздействие.

### ***Разнокачественность форм жизни.***

Одно из свойств жизни – обмен веществ со средой. Живые организмы получают из внешней среды определенные вещества как источники энергии и материал для построения своего тела. Продукты метаболизма выводятся наружу. В связи с этим, *разнокачественность живых организмов представляет собой фундаментальное условие устойчивого существования жизни.* В живой природе набор форм жизни представлен *продуцентами, консументами и редуцентами.*

*Продуценты* – это живые организмы, которые способны синтезировать органическое вещество из неорганических составляющих с использованием внешних источников энергии. Продуцентов еще называют автотрофами, т. к. они сами снабжают себя органическим веществом. По характеру источника энергии для синтеза органических веществ они подразделяются на фотоавтотрофов и хемоавтотрофов. *Фотоавтотрофы* используют энергию солнечного излучения и к ним относятся зеленые растения, некоторые бактерии, цианобактерии. Создавая органическое вещество на основе фотосинтеза, фотоавтотрофы связывают использованную солнечную энергию, как бы запасая ее. Она передается в виде пищи по трофическим цепям и служит основой потоков энергии. *Хемоавтотрофы* в процессах синтеза органического вещества используют энергию химических связей. К ним относятся только прокариоты: бактерии, археобактерии и отчасти цианобактерии.

*Консументы* – живые существа, не способные строить свое тело на основе использования неорганических веществ и требующие поступления органического вещества извне – относятся к группе гетеротрофных организмов, живущих за счет продуктов, синтезированных фото- или хемосинтетиками. В потоке веществ они занимают уровень потребителей, связанных с автотрофами или другими гетеротрофами, которыми питаются. К консументам относится

большинство живых организмов. Их нет лишь среди цианобактерий и водорослей. Из высших растений к ним относятся бесхлорофилльные формы, паразитирующие на других растениях. Частично положение консументов занимают растения со смешанным типом питания (росянка). *Все животные – консументы.*

*Редуценты* – это организмы-гетеротрофы, использующие в качестве пищи мертвое органическое вещество (трупы, растительный опад) и разлагающие его в процессе метаболизма до неорганических составляющих. К ним относятся многие бактерии и грибы. Конечные продукты разложения органических веществ – вода, углекислый газ, аммиак, минеральные соли. Деятельность редуцентов приводит к тому, что годичный опад органических веществ полностью разлагается в тропических лесах в течение 1-2 лет, в лиственных лесах умеренной зоны – за 2-4 года, в хвойных лесах – за 4-5 лет.

### ***Функциональные связи в биосфере.***

*Устойчивость биосферы.* Биосфера представляет собой открытую систему, которая обменивается веществом и энергией с окружающей средой. Это возможно потому, что в экосистеме присутствуют не только автотрофы – производители органического вещества, но и гетеротрофы – потребители и разрушители органического вещества. Между процессами создания органического вещества и его преобразованием и разрушением устанавливается относительное равновесие, и экосистема остается устойчивой. *Устойчивость* – это свойство экосистемы, которое проявляется в поддержании своего состава, структуры и функций, а также в способности восстанавливаться в случае, если они будут нарушены. Основой устойчивости биосферы является биологическое разнообразие составляющих ее экосистем.

На протяжении всей геологической истории Земли на ее поверхности происходили значительные изменения природы. Жаркий климат сменялся холодным с оледенением огромных территорий. Тектоническая деятельность породила мощные горообразовательные процессы. Трансгрессии моря вели к затоплению огромных пространств суши, регрессии – к обнажению морского дна. Происходило постоянное перемещение материков, которое изменяло конфигурацию континентов и океанов. *Несмотря на все это, жизнь на Земле продолжала существовать и развиваться.* Постоянные изменения биосферы проявлялись в *увеличении разнообразия видов живых организмов, усложнении их организации и росте биомассы.* Процессы их жизнедеятельности оказывали существенное влияние на изменение неживой части биосферы. Коренным образом изменился состав атмосферы. В ней появился свободный кислород и озоновый слой. Изменения соотношения кислорода и углекислоты в атмосфере оказало влияние на климат планеты. Углекислота, извлеченная организмами из воды и воздуха, законсервировалась в отложениях угля и карбонатов кальция. В то же время живые организмы принимали активное участие в выветривании горных пород. Выделяя углекислоту, органические и минеральные кислоты, они способствовали миграции химических элементов. Таким образом жизнедеятельность развивающихся видов организмов определяла особенности

развития биосферы. Возможность выживания и направление эволюционных преобразований отдельных видов зависело от их положения в изменяющейся биосфере. Эволюция биосферы претерпевала ряд экологических кризисов или катастроф. Кроме внешних воздействий на биосферу они в значительной степени были обусловлены эволюцией составляющих ее видов. Формирование новых экосистем в биосфере связано с проникновением в новые среды обитания видов или комплексов видов, которые были подготовлены к новым условиям в процессе предшествовавшей эволюции.

*Важная особенность биосферы – это ее неравномерность.* Это хорошо видно при сопоставлении низших и высших форм жизни. На земной поверхности наряду с высшими многоклеточными организмами живет и огромная масса сравнительно низко организованных живых существ. При этом, такие организмы являются необходимой составной частью целостной системы органического мира. Они основа его существования и развития. Без них невозможен внутренний обмен между членами этой системы. Кроме того, неравномерность распределения биосферы проявляется в разной насыщенности ее экосистем живыми организмами.

*Целостность биосферы.* Все компоненты (верхние горизонты литосферы, рельеф, климат, воды, почвы, биота) биосферы находятся в сложном взаимодействии, образуя однородную по условиям развития единую систему. Главный источник энергии для биосферы – солнечная радиация, она обеспечивает фотосинтез, круговороты химических элементов, является источником первичной продукции. Продуктивность биосферы складывается из продуктивности различных экосистем. Биосфера – это целостная глобальная, развивающаяся, саморегулирующаяся экосистема и от ее целостности зависят все живые организмы на Земле, в том числе и человек. Целостность биосферы обусловлена непрерывным обменом вещества и энергии между ее составными частями.

*Ритмичность биосферы.* Для биосферы характерна ритмичность развития – повторяемость во времени тех или иных явлений. В природе существуют ритмы разной продолжительности. Основные из них – суточный, годовой. *Суточный ритм* проявляется в изменении температуры, давления и влажности воздуха, облачности, силы и направления ветра, в явлениях приливов и отливов, процессах фотосинтеза у растений, поведении животных. *Годовая ритмика* – это смена времен года, изменения в интенсивности почвообразования и разрушения горных пород, сезонность в хозяйственной деятельности человека. Суточная ритмика обусловлена вращением Земли вокруг оси, годовая – движением Земли по орбите вокруг Солнца. Разные экосистемы обладают различной суточной и годовой ритмикой. Годовая ритмика лучше всего выражена в умеренном поясе и очень слабо – в экваториальном. Наблюдаются и более продолжительные ритмы (11, 22–23, 80–90 лет и др.). Ритмические явления не повторяют полностью в конце ритма того состояния природы, которое было в его начале. *Именно этим и объясняется направленное развитие природных процессов.*

*Горизонтальная зональность и высотная поясность.* Общебиосферной закономерностью является *горизонтальная зональность* – закономерное изменение природной среды по направлению от экватора к полюсам. Зональность обусловлена неодинаковым количеством поступающего на разные широты солнечной радиации в связи с шарообразной формой Земли. Зональными являются: климат, воды суши и океана, процессы выветривания, некоторые формы рельефа, образующиеся под влиянием внешних сил (поверхностных вод, ветра, ледников), растительность, почвы, животный мир.

Наиболее крупные зональные подразделения – *географические пояса*. Они отличаются друг от друга температурными условиями, а также общими особенностями циркуляции атмосферы, почвенно-растительного покрова и животного мира. На суше выделяются следующие *географические пояса*: экваториальный и в каждом полушарии субэкваториальный, тропический, субтропический, умеренный, а также в Северном полушарии субарктический и арктический, а в Южном – субантарктический и антарктический. Аналогичные по названию пояса (за исключением субэкваториальных) выявлены и в Мировом океане. Зональность Мирового океана выражается в широтном изменении температуры, солености, плотности, газового состава воды, в динамике верхней толщи вод и органического мира. Географические пояса протягиваются преимущественно в широтном направлении.

Внутри географических поясов на суше выделяются *природные зоны*. Каждая из них отличается общностью типа растительности и почв, гидрологических, термических, геохимических, биогеографических и других процессов. Названия природных зон определяются по преобладающему в них типу растительности. Географические зоны подразделяются на *подзоны* по степени разной выраженности зональных признаков. В связи с неоднородностью земной поверхности и условий увлажнения в различных частях материков зоны и подзоны не всегда имеют широтное простираение. Иногда они протягиваются в меридиональном направлении. Например, западе Северной Америки или на востоке Азии. Поэтому зональность правильнее называть не широтной, а *горизонтальной*. Кроме того, многие зоны не распространены по всему земному шару, как пояса. Некоторые из них встречаются только на западе материков, на востоке или в их центре. Это объясняется тем, что зоны образовались вследствие различного соотношения тепла и влаги. При этом зональным является только распределение тепла. Распределение влаги зависит от удаления территории от океанов.

*Высотная поясность* имеет много общего с горизонтальной зональностью. Однако природные пояса в горах меняются значительно быстрее, чем природные зоны на равнинах. Есть и другие различия: в горах во всех поясах при достаточном количестве тепла и влаги существует особый пояс субальпийских и альпийских лугов, которого нет на равнинах. Кроме того, каждый пояс гор существенно отличается от равнинного с аналогичным названием. Это связано с различиями в условиях освещенности и состава поступающей солнечной радиации. Большое влияние на высотную поясность в горах оказывает экспозиция склонов. Между горизонтальной зональностью и

высотной поясностью существует и тесная взаимосвязь. Горизонтальная зональность определяет тип высотной поясности. В каждой горизонтальной зоне горы обладают своим набором высотных поясов. Количество высотных поясов зависит от высоты гор и их местоположения. Чем выше горы и чем ближе к экватору они расположены, тем разнообразнее у них спектр поясов.

#### **1.1.4. Круговорот веществ и энергии как основа функционирования биосферы**

##### ***Биосфера как целостная система.***

Все компоненты (верхние горизонты литосферы, рельеф, климат, воды, почвы, биота) биосферы находятся в сложном взаимодействии, образуя однородную по условиям развития единую систему. *Биосфера* – это целостная глобальная, развивающаяся, саморегулирующаяся экосистема и от ее целостности зависят все живые организмы на Земле, в том числе и человек. *Целостность биосферы* обусловлена непрерывным обменом вещества и энергии между ее составными частями. Это особо подчеркивается в *Учении о биосфере* В.И. Вернадского (1863-1945) крупнейшем из обобщений в области естествознания в 20 веке. Сущность учения заключена в признании роли живого вещества, преобразующего облик планеты. Важным аспектом учения является разработанное Вернадским представление об организованности биосферы, которая проявляется в согласованном взаимодействии живого и неживого, приспособляемости организма к среде обитания. Также Вернадский обосновал важнейшие представления о формах превращения вещества, путях миграции химических элементов при участии живого вещества, накоплении химических элементов, о движущих факторах развития биосферы.

*Функционирование биоты основано на физико-химических и молекулярно-биологических закономерностях. Закон физико-химического единства В. И. Вернадского – все живое вещество Земли физико-химически едино. Первый биогеохимический принцип В. И. Вернадского – биогенная миграция атомов химических элементов в биосфере всегда стремится к максимальному своему проявлению. Второй биогеохимический принцип В. И. Вернадского – эволюция видов в ходе геологического времени, приводящая к созданию устойчивых в биосфере форм жизни, идет в направлении, усиливающем биогенную миграцию атомов. Третий биогеохимический принцип В. И. Вернадского – живое вещество находится в непрерывном химическом обмене с космической средой, его окружающей, и создается и поддерживается на нашей планете космической энергией Солнца.*

##### ***Круговорот веществ как основа функционирования биосферы.***

*Круговорот веществ в биосфере – циклический, многократно повторяющийся процесс совместного, взаимосвязанного превращения и перемещения веществ. Его наличие является необходимым условием существования биосферы: после использования одними организмами вещества должны переходить в доступную для других организмов форму. Такой переход*

веществ от одного звена к другому требует энергетических затрат, поэтому возможен только при участии энергии Солнца. С использованием солнечной энергии на планете протекают два взаимосвязанных круговорота веществ: большой – *геологический* и малый – *биологический (биотический)*.

*Большой (геологический) круговорот веществ* – постоянное перемещение веществ из недр Земли на её поверхность, осуществляемое различными способами (вулканы, рифтовые трещины, разломы и т. д.), и обратный поток вещества в недра (выветривание, эрозия, образование осадочных отложений и т. д.). Кристаллические горные породы (магматические) под воздействием физических, химических и биологических факторов разрушаются. Рыхлые осадки по мере их погружения на глубину озер, морей и океанов теряют воду, отвердевают и преобразуются в осадочные горные породы. Под воздействием потоков эндогенной энергии глубинные породы переплавляются, образуя магму – источник новых магматических пород. После поднятия этих пород на поверхность Земли, под действием процессов выветривания и переноса снова происходит их трансформация в новые осадочные породы. Таким образом, *большой круговорот* обусловлен взаимодействием солнечной (экзогенной) энергии с глубинной (эндогенной) энергией Земли. Он перераспределяет вещества между биосферой и более глубокими горизонтами нашей планеты. С появлением биосферы в большой круговорот веществ включились продукты жизнедеятельности организмов, вследствие чего геологический круговорот приобрёл совершенно новые черты. Он становится поставщиком питательных веществ живым организмам, во многом определяя условия их существования.

В *биологическом (биотическом) круговороте* принимают участие все живые организмы. Например, растения в процессе жизнедеятельности потребляют из окружающей среды углекислый газ, воду, минеральные вещества и выделяют кислород. Животные используют выделенный растениями кислород для дыхания. Они поедают растения и в результате пищеварения усваивают образовавшиеся в процессе фотосинтеза органические вещества, выделяют углекислый газ и непереваренные остатки пищи. После отмирания растения и животные образуют массу мертвого органического вещества (детрит), доступную для разложения (минерализации) микроскопическими грибами и бактериями. Образовавшиеся минеральные соединения, попадая в водоемы и почву, снова становятся доступными растениям для фиксации посредством фотосинтеза. Такой процесс повторяется бесконечно и носит замкнутый характер (круговорот).

Геологический и биологический круговороты в совокупности формируют *общий биогеохимический круговорот веществ*, в котором участвует огромное количество химических элементов и соединений. Важнейшими из них являются те, которые определяют современный этап развития биосферы и связаны с хозяйственной деятельностью человека. К ним относятся круговороты углерода, азота, серы, фосфора, кислорода, ртути, свинца, воды. Большое значение имеет знание круговоротов ряда токсичных элементов и, в частности, ртути (загрязнитель пищевых продуктов) и свинца (компонент бензина, который выступает загрязнителем почвы и атмосферы). В круговороты

вовлекаются многие вещества антропогенного происхождения (ДДТ, пестициды, радионуклиды и др.), которые наносят вред биоте и здоровью человека.

Отдельные процессы и части биогеохимического цикла достаточно хорошо изучены и описаны в научной литературе. Глобальный круговорот вещества состоит из запасов (резервуаров) и потоков. Как правило, суммарная величина запасов значительно больше, чем потоков, что обеспечивает устойчивость круговорота. Одна из важных количественных характеристик – среднее время оборота вещества, вычисляемое как отношение запаса к потоку. Оно может определяться также для любой ветви круговорота. Все естественные глобальные круговороты вещества отличаются чрезвычайно высокой степенью замкнутости.

В геологическом масштабе времени баланс потоков синтеза и деструкции органического вещества Земли выдерживается с точностью до восьми знаков за запятой. Поэтому даже малые, но устойчивые антропогенные воздействия могут приводить к существенным изменениям естественных круговоротов. Отсюда вытекает важнейшая роль деятельности человека в возникновении и усилении несбалансированности круговоротов с серьезными последствиями глобальных размеров.

*Круговорот углерода.* Углерод является наиболее важным химическим элементом биосферы, потому что: почти все формы жизни состоят из соединений углерода; реакции окисления и восстановления соединений углерода в биосфере обуславливают глобальное распространение и баланс не только углерода, но и кислорода, а также и многих других химических элементов; способность атома углерода создавать цепи и кольца обеспечивает разнообразие органических соединений; углеродсодержащие газы – углекислый газ ( $\text{CO}_2$ ) и метан ( $\text{CH}_4$ ) – играют определяющую роль в антропогенном парниковом эффекте. Основные резервуары углерода находятся в гидросфере, биосфере и атмосфере. Между ними происходит активный обмен с интенсивностью в десятки миллиардов тонн углерода в год. Важнейшие процессы в биосфере – формирование органического вещества из неорганического при участии солнечной энергии (фотосинтез), расходование органического вещества в процессах аэробной и анаэробной жизнедеятельности биоты и деструкция органического вещества. Часть углерода выделяется в атмосферу в составе углекислого газа при дыхании живых организмов и при разложении бактериями мертвого органического вещества. Усвоенный растениями углерод потребляется животными. Мировой океан является главным поглотителем углерода, где он содержится в различных формах: в виде частиц неорганических углеродсодержащих веществ, частиц органического нерастворимого углерода, растворенного органического углерода и живых форм. Коралловые полипы, моллюски используют соединения углерода для построения скелетных образований и раковин. После их отмирания и оседания на дне формируются отложения известняков. В конечном итоге подавляющая часть углерода в океане отлагается на дне, перекрывается все более молодыми отложениями. Часть углерода

накапливается в виде мертвых органических веществ там, где отсутствуют условия для их разложения, и переходит в ископаемое состояние (торф, нефть, каменный уголь и др.). Общая масса углерода в залежах полезных ископаемых оценивается свыше 1 трлн. т. Содержание углерода в нефти составляет до 87,0 %, в бурых углях – до 76 %, в каменном угле – до 90 %, в тканях водных растений и животных (в пересчете на сухое вещество) – 34-40 %, у наземных организмов – 45-46 %, у бактерий – 54 %. В настоящее время к природным процессам пополнения углерода в атмосфере добавилось значительное *антропогенное воздействие*, например в виде сжигания углеводородного топлива. Основной антропогенный поток в глобальном цикле углерода образуется в результате сжигания горючих ископаемых в процессе производства энергии. Другой поток – различные виды деструкции органического вещества биоты и почв, которые возникают при антропогенном преобразовании экосистем суши. Эти антропогенные потоки относительно невелики, но они устойчиво возрастают. В чрезвычайно сбалансированном цикле углерода антропогенное воздействие приводит уже сейчас к заметному усилению парникового эффекта с соответствующими серьезными последствиями для окружающей среды.

*Круговорот азота.* Азот – ключевой ингредиент жизни, поскольку он является обязательным компонентом всех белковых соединений. Основные запасы соединений азота сосредоточены в литосфере. Остальные запасы представлены в виде химически малоактивного газа, составляющего 79 % атмосферы. Запасы азота в биосфере и гидросфере – на три порядка меньше, чем в атмосфере. Несмотря на относительно небольшие запасы азота в биосфере и гидросфере, это активный элемент, быстро обменивающийся между геосферами. Картина химических процессов цикла азота чрезвычайно сложна и разнообразна, потому что азот проходит сквозь воздух, воду и почву в различных химических видоизменяющихся формах. В наземном и океаническом субциклах азота сосредоточено до 95 % всех его потоков. Основная часть биосферного азота находится в атмосфере в газообразной форме. Из-за прочности связей между атомами в молекулярном азоте ( $N_2$ ) большинство живых организмов не способны использовать его непосредственно. Поэтому важным звеном в круговороте азота является его фиксация и перевод в доступную для организмов форму.

*Различают три пути фиксации азота. Атмосферная фиксация.* Под воздействием атмосферных электрических разрядов (молний) азот может взаимодействовать с кислородом с образованием оксида (NO) и диоксида ( $NO_2$ ) азота, которые растворяются в парах воды и в виде азотистой ( $HNO_2$ ) и азотной ( $HNO_3$ ) кислот с осадками попадают в почву. В – почве в результате диссоциации этих кислот образуются нитриты ( $NO_2^-$ ) которые поглощаются растениями и включаются в биологический и нитраты ( $NO_3^-$ ), круговорот. На долю атмосферной фиксации азота приходится около 10 млн т азота в год, что составляет около 3 % ежегодной азотфиксации в биосфере. *Биологическая фиксация.* Она осуществляется азотфиксирующими бактериями, которые переводят азот в доступные для растений формы (бактерии, фиксирующие азот

в клубеньках бобовых растений. Они поставляют растениям азот в виде аммиака). Аммиак хорошо растворим в воде с образованием иона аммония ( $\text{NH}_4^+$ ), который и усваивается растениями. После отмирания животных и растений и разложения их остатков почва обогащается органическими и минеральными соединениями азота. В дальнейшем гнилостные (аммонифицирующие) бактерии расщепляют азотсодержащие вещества растений и животных до аммиака. Большая часть аммиака подвергается окислению нитрифицирующими бактериями до нитритов и нитратов, которые вновь могут использоваться растениями. *Промышленная фиксация.* Наибольшее количество азота ежегодно связывается промышленным путем при производстве минеральных азотных удобрений. Азот из таких удобрений усваивается в аммонийной и нитратной формах. Возвращение азота в атмосферу происходит путем денитрификации, которую осуществляет группа денитрифицирующих бактерий. В результате происходит восстановление азотистых соединений до молекулярного азота. Часть азота с поверхностным стоком попадает в моря, где он включается в морские организмы или донные отложения.

*Круговорот фосфора.* Фосфор также один из важнейших химических элементов, поскольку он играет огромную роль в биологических и биогеохимических процессах. Биологическое значение фосфора в жизни организмов исключительно велико: он необходимый компонент ДНК, его соединения входят в состав нуклеиновых кислот, клеточных мембран, мозга и костной ткани. Наряду с азотом, фосфор контролирует биологическую продуктивность наземных и морских экосистем вследствие невысокого содержания этих элементов в экосистемах. Содержание фосфора в тканях растений составляет 250-350 мг, морских животных – 400-1800 мг, наземных животных – 1700-4400 мг, бактерий – около 3000 мг на 100 г сухого вещества, т.е. до 4,5 % общей массы. В организме человека много фосфора в костной ткани – свыше 5 г и в тканях мозга – около 4 г на 100 г сухого вещества (4-5 % общего веса). *Основные резервуары фосфора* – экосистемы суши, океаны и отложения наносов в водоемах. Газообразные формы фосфора практически не существуют, и поэтому в атмосфере его нет. В литосфере подавляющая часть фосфора кристаллических пород содержится в апатитах (95 %). Первоначально почти весь фосфор на суше образовался вследствие выветривания апатитов. Осадочные отложения вторичного характера - фосфориты, дающие около 80 % всей мировой добычи фосфора. В естественных экосистемах связывание фосфора растениями находится в состоянии баланса с возвратом фосфора из растений благодаря распаду органического вещества. В растворенном виде фосфор всегда находится в динамическом равновесии с кислородом. Из почвы фосфор извлекается в виде растворимых фосфатов. Растения поглощают ионы фосфата, причем усвоение зависит от кислотности почвы. В щелочной среде фосфаты практически нерастворимы, в нейтральной – малорастворимы. По мере повышения кислотности они превращаются в хорошо растворимую фосфорную кислоту. С растительной пищей фосфор потребляют животные. Органический фосфор растительного опада, отмерших животных и их

выделений трансформируется в фосфаты. Биогеохимия фосфора существенно отличается от биогеохимии других биогенных элементов, поскольку фосфор, в отличие от других биогенов, практически не встречается в газообразной форме. Это предопределяет однонаправленный поток фосфора вниз по уклону под действием силы тяжести, главным образом в виде тонкодисперсных наносов, на поверхности которых адсорбированы соединения фосфора. Противоположного потока не существует, что создает реальную опасность значительного обеднения фосфором экосистем суши (в том числе и агроэкосистем) с соответствующим снижением их биологической продуктивности. В XX веке круговорот фосфора в биосфере оказался нарушенным. Причины этого – производство фосфорных удобрений, фосфорсодержащие препараты, производство продовольствия и кормов, добыча морских моллюсков и водорослей. Вследствие антропогенной деятельности, приводящей к повышенной эрозии почв, смыву фосфорных удобрений и сбросу неочищенных сточных вод интенсивность потоков фосфора в мире увеличилась. Это приводит к усилению процессов эвтрофикации водоемов. Общемировая величина потока фосфора в гидросферу оценивается величиной около 20 млн. т в год.

*Круговорот серы.* Сера играет важную роль в биологических процессах. Она содержится в составе аминокислот, белков и других сложных органических соединений. Ее доля в наземных растениях равна 0,3 %, в животных – 0,5 %, в морских растениях – 1,2 %, в морских животных – до 2 %. Глобальный цикл серы отличается разнообразием биотических и абиотических процессов с участием различных компонентов в газообразной, жидкой и твердой фазах. В большом круговороте сера переносится с океана на материки с атмосферными осадками и возвращается в океан со стоком. Запасы серы пополняются за счет вулканической деятельности. Вулканы выбрасывают серу в виде серного ангидрида, сернистого газа, сероводорода и элементарной серы. В литосфере имеются различные сульфиды металлов: цинка, железа, свинца и др. В биосфере сульфидная сера ( $SO_3$ ) окисляется до сульфатной ( $SO_4$ ) почв и водоемов. Из всех глобальных биогеохимических циклов основных биогенных элементов цикл серы наиболее сильно нарушен деятельностью человека. Важнейшее антропогенное воздействие это эмиссия оксида серы ( $SO_2$ ), возникающая благодаря сжиганию горючих ископаемых, прежде всего угля. Около 90 % мировой эмиссии этого газа характерно для Северного полушария. В среднем антропогенный поток серы вдвое превышает естественный поток. Современный сток соединений серы по речным системам также более чем вдвое превышает его первоначальную, доиндустриальную величину вследствие эрозии почв, применения удобрений, выпадений из атмосферы и пр. Антропогенное нарушение цикла серы определяет или серьезно влияет на ряд глобальных геоэкологических проблем, таких как асидификация окружающей среды и изменение климата.

*К*

*р*

*у*

*г*

*о*

*в*

*о*

топлива и гниения компенсируется кислородом, который выделяется растениями планеты в ходе процессов фотосинтеза. Значительная часть кислорода, вырабатываемого в ходе эволюции Земли, не осталась в атмосфере, а была зафиксирована в литосфере в виде различных неорганических соединений: карбонатов, сульфатов, оксидов железа и др. В последние десятилетия деятельность человека, приводящая к вырубке лесов, эрозии почв, снижает интенсивность фотосинтеза и нарушает естественный ход круговорота кислорода на значительных территориях.

*Круговорот воды.* Вода является необходимым веществом в составе любых живых организмов. Основная масса воды распределена в гидросфере. Испарение с поверхности водоемов представляет источник атмосферной влаги; ее концентрация вызывает осадки, с которыми в конце концов вода возвращается в океан. *Этот процесс составляет большой круговорот воды.* В процессе перехвата растительность способствует испарению части осадков в атмосферу раньше, чем они достигнут поверхности земли. Достигнув почвы, вода просачивается в нее, образуя либо почвенную влагу, либо стекает в водоемы. Частично почвенная влага может по капиллярам подняться на поверхность и испариться. Из нижних слоев почвы влага всасывается корнями растений, затем транспирируется. Так происходит *эвапотранспирация* – суммарная отдача воды из экосистемы в атмосферу (испарения с почвы и транспирация растениями). Если количество воды превышает ее влагоемкость, она достигает уровня грунтовых вод. Подземный сток связывает почвенную влагу с гидросферой. В целом, круговорот воды характеризуется тем, что в отличие от углерода, азота и других элементов вода не накапливается и не связывается в живых организмах. На формирование биомассы экосистемы используется лишь около 1 % воды, выпавшей с осадками.

Ртуть рассеяна в земной коре и только в немногих минералах (киноварь) содержится в концентрированном виде. Она мигрирует в газообразном состоянии и в водных растворах. Ртуть и ее соединения токсичны. В атмосферу поступает при выделении из киновари, с вулканическими газами и газами термальных источников. Часть газообразной ртути в атмосфере переходит в твердую фазу и удаляется в почву (особенно глинистую), воду и горные породы. В нефти и каменном угле ртути содержится до 1 мг/кг. Ртуть концентрируется в воде океана – 1,6 млрд. т, в донных отложениях – 500 млрд. т, в планктоне – 2 млн т. Речными водами ежегодно с суши выносятся около 40 тыс. т, что в 10 раз меньше, чем поступает в атмосферу при испарении (400 тыс. т). Ртуть применяется в металлургии, фармацевтической, химической, электротехнической, целлюлозно-бумажной и электронной промышленности и используется для производства взрывчатых веществ, лаков и красок, входит в состав ртутьорганических пестицидов (для защиты культур от вредителей и протравливания семян). В организм человека попадает с продуктами питания. Как и нитраты, ртуть опасна для здоровья людей (допустимая концентрация в моче – 0,035 мг/л).

*Круговорот свинца.* Свинец присутствует во всех компонентах природной среды. В земной коре его 0,0016 %. Важнейшим звеном круговорота свинца

является его атмосферно-гидросферный перенос. Большая часть его осаждается с пылью, меньшая – с атмосферными осадками (менее 40 %). Растения получают свинец из почвы и воды, а животные – потребляя растения и воду. В организм человека попадает вместе с пищей, водой и пылью. Основной источник загрязнения – бензиновые двигатели, выхлопные газы которых содержат тетраэтилсвинец, а также ТЭЦ (работающие на каменном угле), горнодобывающая, металлургическая и химическая промышленности. Для тушения реактора Чернобыльской АЭС использовали свинец, который затем поступил в воздушный бассейн и рассеялся. В воздухе промышленных районов содержание свинца в 10000 раз выше, чем естественный уровень. Только в поверхностные воды поступает до 300 тыс. т свинца в год. У жителей промышленно развитых стран содержание свинца в организме в несколько раз выше, чем у жителей аграрных стран. Возрастает его отложение в костях, волосах и печени. Выводится свинец из организма через кишечник и почки. Выделение его с мочой до 0,05 мг/л считается не угрожающим здоровью.

*Биогеохимические функции разных групп организмов.* На основе функций, которые живые организмы выполняют в обмене веществом и энергией они классифицируются автотрофные и гетеротрофные. К *автотрофным* относятся зеленые растения и некоторые прокариоты. Они создают органическое вещество из неорганического, используя в качестве источника энергии в основном солнечную радиацию. Некоторые бактерии осуществляют хемосинтез – создают органическое вещество за счет энергии химических реакций. *Гетеротрофные* организмы – животные, грибы, большинство бактерий – питаются готовым органическим веществом. Грибы и бактерии используют органические остатки и продукты жизнедеятельности других организмов.

*Важнейшие пищевые вещества.* Углеводы, жиры (липиды), нуклеиновые кислоты, белки – основные классы органического вещества, синтезируемые живыми организмами. *Углеводы.* Это вещества, представляющие собой соединения углерода, водорода и кислорода. К ним относятся простые сахара (моно- и дисахариды), а также полисахариды, в которых молекулы простых сахаров объединяются в сложные комплексы. Наиболее важны из полисахаров – крахмал и клетчатка (у растений), а также гликоген (у животных). Основная функция углеводов в организме – обеспечение энергией процессы метаболизма. *Липиды.* Молекула нейтрального жира состоит из 1 молекулы 3-атомного спирта глицерина и 3 молекул жирных кислот. По своей функции жиры – наиболее распространенные резервные энергетические вещества. Их использование для получения энергии идет путем расщепления молекулы жира (триглицерида) на глицерин и жирные кислоты и окисления последних. Белки. Это вещества со сложно структурированной молекулой, которая содержит большое число атомов углерода, водорода, кислорода и азота с включением ряда других элементов (сера, фосфор и др.). Основные функции белка: 1) структурная; 2) регуляторная (гормоны); 3) метаболическая (ферменты); 4) транспортная (доставка кислорода, гормонов, питательных веществ); 5) защитная (участие в иммунной системе).

В различных таксонах органического мира соотношение форм по пищевой специализации может быть различным. Разнообразны в этом отношении прокариоты (бактерии, архебактерии, цианобактерии). Они насчитывают относительно небольшое число видов, но в большой массе, обеспечивает высокий уровень первичной продукции. В некоторых озерах фотосинтезирующие бактерии создают 3/4 валовой продукции. Фотосинтез у них протекает иначе, чем у растений. Бактерии используют для этого пигмент бактериохлорин и не выделяют кислород в окружающую среду. Помимо фотосинтеза среди прокариот существует *хемосинтез*. Бактерии – единственная группа, способная усваивать азот из атмосферного воздуха и вовлекать его в биологический круговорот. С помощью бактерий и цианобактерий в состав

Таким образом, *первая функция прокариот в биосфере* заключается в вовлечении в круговорот элементов неживой среды. *Вторая* их функция противоположна первой: возвращение неорганических веществ в окружающую среду путем минерализации органических соединений. *Третья* – концентрационная функция прокариот. Они извлекают из окружающей среды определенные элементы даже при очень низких их концентрациях. В продуктах их жизнедеятельности содержание железа, марганца, ванадия в сотни раз выше, чем в окружающей среде. Свойства и функции прокариот настолько разнообразны, что в принципе возможно существование экосистем только из них. Около 2 млрд. лет назад жизнь была представлена только ими. Они первыми заселяют не освоенные места. Прокариоты обладают высокой устойчивостью к внешним воздействиям. Они способны переносить температуру свыше 100°C, pH около 1,0 и соленость 20-30 %.

*Организмы-гетеротрофы* специализированы на использовании разного рода пищи. В зависимости от этого они подразделяются на *фитофагов* (травоядные животные) и *зоофагов* (хищники, паразиты). Потребители мертвых организмов подразделяются на *некрофагов* (питание трупами животных), *копрофагов* (питание экскрементами), *сапрофитов* (питание мертвыми растительными остатками) и *детритофагов* (полуразложившимися органическими веществами).

*Царство Грибы*. Все грибы (миксомицеты и высшие) – гетеротрофы. По характеру питания большинство из них – паразиты или сапрофаги, но есть и хищные грибы (употребляющие мелких почвенных животных). Основная биосферная роль грибов – разложение мертвых органических веществ. Некоторые грибы способны разлагать горные породы. Мицелий ряда видов грибов вступает в симбиотические связи с корневой системой высших растений, образуя микоризу (от греч. *mykes* – гриб; *rhiza* – корень). Семена некоторых орхидей не прорастают без микоризы.

*Царство Растения*. Содержит большое количество автотрофов-фотосинтетиков. Растения являются первичными продуцентами, способными высвободить молекулярный кислород. Если в водной среде водоросли делят эту функцию с цианобактериями (фотосинтезирующие бактерии кислород не выделяют), то в наземных экосистемах продукция кислорода осуществляется

только растениями. Среди высших растений известны гетеротрофы-паразиты (лианы) и даже хищники (росянка).

*Царство Животные.* Исключительно гетеротрофы. Их место в структуре биологического круговорота – это консументы I-го порядка (фитофаги) и выше (хищники, паразиты, сверхпаразиты). Основной их функцией является создание многообразия живого вещества, миграция его в пространстве и регуляция потоков вещества и энергии в системе круговорота.

### ***Энергетическое обеспечение биологического круговорота.***

Все преобразования веществ в процессе круговорота требуют затрат энергии. Ни один живой организм не продуцирует энергию, она может быть получена только извне. Главный источник энергии - солнечное излучение. Поэтому первый этап использования и преобразования энергии в цепях круговорота – фотосинтез. Энергия солнечной радиации (ФАР) в процессе фотосинтеза преобразуется в энергию химических связей. Аккумуляция энергии сопряжена с увеличением массы организма. Созданную продуцентами-фотосинтетиками массу веществ называют первичной продукцией. Это биомасса растительных тканей.

Не вся полученная продуцентами энергия накапливается в виде первичной продукции; часть ее рассеивается в форме тепла. Другая часть этой энергии расходуется на процессы поддержания жизнедеятельности. Это ведет к уменьшению биомассы. Эти потери называются потерями на дыхание. В результате в виде накопленной биомассы (чистая первичная продукция) аккумулируется лишь небольшая часть полученной солнечной энергии.

Если энергию солнечного излучения принять за 100 %, то всего 15 % ее достигает поверхности Земли и только 1 % связывается в виде органического вещества растительности. Из полученной энергии около половины расходуется на жизненные процессы (потери на дыхание). Оставшиеся 50 % энергии составляет рост биомассы. Таким образом, чистая продукция составляет около 0,5 % солнечной энергии, падающей на Землю.

Накопленная в результате фотосинтеза биомасса растений (первичная продукция) используется в качестве пищи гетеротрофами (консументами I-го порядка). В пищу фитофагам поступает около 40 % фитомассы. Оставшиеся 60 % означают реальную массу растительности в экосистеме. Примерно так же идет дальнейшее использование энергии организмами-гетеротрофами. Усвоенная с пищей энергия за вычетом энергии экскретов (фекалии, моча и т.п.) составляет метаболизированную энергию. Часть ее выделяется в виде тепла в процессе переваривания пищи (рассеивается либо используется на терморегуляцию). Оставшаяся энергия подразделяется на энергию существования (расходуется на различные формы жизнедеятельности) и продуктивную энергию (аккумулируется в виде массы тканей, половых продуктов, энергетических резервов и т. д.). Энергия, накопленная в тканях тела, составляет вторичную продукцию экосистемы, которая может быть использована в пищу консументами высших порядков. Подобным образом энергия расходуется на всех гетеротрофных этапах круговорота. В результате

количество энергии, доступной для потребления, падает с повышением трофического уровня. В цепях разложения деструкция органических веществ связана с высвобождением энергии, которая частично рассеивается, а частично аккумулируется в составе тканей редуцентов. После гибели их тела также поступают в цикл редукации.

### 1.1.5. Влияние деятельности человека на биосферу

***Место человека в биосфере. Развитие концепции о ноосфере. Козволюционное развития человеческого общества и биосферы.***

Человек занимает двойственное положение в биосфере. С одной стороны, *человек – биологический объект*. Он входит в общую систему круговорота и связан со средой системой трофических и энергетических взаимодействий. Здесь человек занимает нишу гетеротрофного консумента-полифага с аэробным типом обмена вещества и энергии. С другой стороны, *человечество – социальная система*, которая предъявляет к среде небиологические требования (бытовые, технические, культурные). Человечество как социальная система действует шире, чем как биологическая, нарушая сбалансированный круговорот вещества. В результате неизбежно ухудшается качество окружающей среды. Отсюда есть лишь один выход: *использование разума человечества* не только для эксплуатации естественных ресурсов, но и для сохранения их. Решение проблемы предусматривает регулирующее вмешательство человека в биосферные процессы.

В. И. Вернадский считал, что с возникновением человека и развитием его производственной деятельности человечество становится основным *геологическим фактором* всех происходящих в биосфере планеты изменений, приобретающих глобальный характер. *Дальнейшее неконтролируемое развитие деятельности людей*, по мнению В. И. Вернадского, может постепенно привести к преобразованию биосферы в *ноосферу*, или *сферу разума* (от греческих *noose* – разум, *spherical* – шар). Основателями концепции ноосферы можно считать трех ученых – французского математика, антрополога и палеонтолога Э. Леруа (1870-1954), французского теолога, палеонтолога и философа П. Тейяра де Шардена (1881-1955) и выдающегося российского ученого-естествоиспытателя В. И. Вернадского.

В концепции ноосферы разум человека предстает природным, космическим явлением. *Ноосфера (сфера разума)* – высшая стадия развития биосферы, при которой разумная деятельность человечества становится главной движущей силой ее развития. *Ценность учения В. И. Вернадского о ноосфере* в том, что он выявил геологическую роль живого вещества в планетарных процессах, в создании и развитии биосферы и всего разнообразия живых существ в ней. Среди этих существ он выделил человека как мощную геологическую силу, которая способна влиять на ход биогеохимических и др. процессов на Земле и в околоземном пространстве. Окружающая среда существенно изменяется человеком, благодаря его труду. Он способен перестроить ее согласно своим представлениям и потребностям.

Учение В. И. Вернадского о ноосфере утверждает принцип совместной эволюции человечества и природной среды (сейчас этот процесс называют *коэволюцией*). Процесс совместного (коэволюционного) гармоничного развития человеческого общества и биосферы может быть обеспечен только благодаря науке, позволяющей оценить экологические последствия крупномасштабных преобразующих природу процессов и найти пути экологобезопасного существования.

*Понятие «ноосферы»* в современной науке имеет довольно широкий спектр толкования, и представляется как глобальная социально - экологическая система. Она представляет собой комплекс взаимосвязанных подсистем: *природная* (флора, фауна, вода, воздух, климат, рельеф, и т.д.); *этносоциальная* (обычаи, традиции, быт, язык и т.д.); *социокультурная* (искусство, здравоохранение, наука, религия, образование и т.д.); *экономическая* (население, сельское хозяйство, транспорт, промышленность и т.д.).

В связи с развитием производственных сил возникают новые по качеству круговороты вещества в биосфере по пути превращения ее в ноосферу. Основные их признаки заключаются в следующем: 1) Возрастание механически извлекаемого материала земной коры – рост разработки месторождений полезных ископаемых. 2) Происходит массовое потребление (сжигание) продуктов фотосинтеза прошлых геологических эпох. 3) Процессы в антропогенной биосфере приводят к рассеиванию энергии, а не к ее накоплению, что было характерно для биосферы до появления человека. 4). В биосфере в массовом количестве создаются вещества, ранее в ней отсутствовавшие, в том числе чистые металлы. 5) Появляются, хотя и в ничтожно малых количествах трансурановые химические элементы (плутоний и др.) в связи с развитием ядерной технологии и ядерной энергетики.

Оценивая роль человеческого разума и научной мысли как планетарного явления В. И. Вернадский пришел к следующим выводам. Ход научной мысли – это та сила, которая меняет биосферу. Изменение биосферы происходит независимо от человеческой воли, стихийно, как природный естественный процесс.

### ***Антропогенные формы воздействия на биосферу. Экологические проблемы биосферы.***

Среди геоэкологических проблем биосферы есть две наиболее серьезные. *Первая* проблема обусловлена снижением роли биосферы в поддержании стабильного состояния географической оболочки. *Вторая* связана со значительным изъятием и разрушением человеком возобновимых биологических ресурсов. Человек как биологический вид находится на вершине экологической пирамиды. По законам биологической экологии ему полагается на питание лишь *несколько процентов* производимой на суше первичной биологической продукции. Благодаря использованию пашни, пастбищ и лесов человек поглощает сельскохозяйственные и лесные продукты общей массой 31 млрд т. Изменения природных ландшафтов, превращение естественных экосистем в антропогенные и другая деятельность человека уменьшили

первичную биологическую продукцию на 27 млрд т. Таким образом, общее количество потребляемой и разрушаемой человеком биомассы суши равно 58 млрд т в год, или почти 40 % первичной биологической продукции суши. Потребление человеком первичной биологической продукции превосходит все допустимые пределы. В конечном итоге это может привести к катастрофическим изменениям биосферы и всей географической оболочки.

Хозяйственная деятельность человека на современном этапе все чаще демонстрирует отрицательные примеры воздействия на биосферу. *К ним относятся:* загрязнение окружающей среды, деградация земель и почв, опустынивание и обезлесение, нарушение биологического разнообразия, нерациональное использование природных ресурсов.

*Загрязнение окружающей среды* – поступление в среду новых, нехарактерных для нее твердых, жидких и газообразных веществ либо превышение их естественного уровня в окружающей среде, которое оказывает негативное влияние на биосферу. *Загрязнение атмосферы.* Окружающая нас атмосфера всегда содержит определенное количество примесей как от природных, так и от антропогенных источников загрязнения атмосферы. К числу примесей, выделяемых природными источниками, относятся: пыль (растительного, вулканического и космического характера); туман, дымы и газы от лесных и степных пожаров; газы вулканического происхождения; различные продукты растительного, животного и микробиологического происхождения. Уровень загрязнения атмосферы природными источниками является фоновым и мало изменяется с течением времени. Фоновое загрязнение воздуха охватывает площади, соизмеримые с площадью континентов или всего мира. На фоновое загрязнение воздуха наложены крупные пятна локального загрязнения.

*Антропогенные источники* отличаются от природных своим многообразием. Если в начале XX в. в промышленности применялось 19 химических элементов, то в середине века задействовано уже около 50, а с 1970-х гг. – практически все элементы из таблицы Менделеева. Это существенно сказалось на составе выбросов в атмосферу, ее качественном загрязнении, в частности, аэрозолями тяжелых и редких металлов, синтетическими соединениями, не существующими и не образующимися в природе радиоактивными, канцерогенными, бактериологическими и другими веществами. Практически во всех больших городах развивающихся стран качество воздуха весьма низкое и продолжает ухудшаться. Это одна из важнейших проблем, влияющая на здоровье людей и состояние городских и пригородных геосистем. Основными источниками загрязнения воздуха являются теплоэнергетика, черная и цветная металлургия, химическая промышленность, транспорт, нефте- и газопереработка. Каждый из которых выделяет в воздух десятки тысяч веществ: *теплоэнергетика* (оксиды углерода, серы и азота, пыль, металлы); *транспорт* (оксиды углерода и азота, углеводороды, тяжелые металлы); *черная металлургия* (пыль, диоксид серы, фтористые газы, металлы); *нефтепереработка* (углеводороды, сероводород, дурнопахнущие газы); *производство цемента* (пыль).

*Наиболее распространенные токсичные вещества, загрязняющие атмосферу. Окись углерода (угарный газ, CO<sub>2</sub>). Основными природными источниками являются: лесные пожары; антропогенными – автотранспорт, промышленные предприятия, энергоустановки, в том числе черная и цветная металлургия. Среднегодовая концентрация в воздухе над городом от 1 до 50 мг/м<sup>3</sup>. Диоксид серы (SO<sub>2</sub>). Природные источники: вулканические извержения, окисление серы и сульфатов, рассеянных в море, и антропогенные источники – сжигание топлива в промышленных и бытовых установках. Среднегодовая концентрация в воздухе над городом – до 1,0 мг/м<sup>3</sup>. Оксиды азота (NOX). Природными источниками загрязнения являются лесные пожары, а антропогенными – промышленность, автотранспорт, теплоэлектростанции. Среднегодовая концентрация в воздухе в районах с развитой промышленностью до 0,2 мг/м<sup>3</sup>. Углеводороды (C<sub>n</sub>H<sub>m</sub>). К природным источникам относятся лесные пожары, природный метан, природные терпены, а к антропогенным – автотранспорт, сжигание отходов, испарение нефтепродуктов. Среднегодовая концентрация в воздухе в районах с развитой промышленностью до 3,0 мг/м<sup>3</sup>. Пыль, зола и другие твердые частицы. Основными природными источниками являются: вулканические извержения, пылевые бури, лесные пожары, а антропогенными – сжигание топлива и отходов. Среднегодовая концентрация в воздухе над городом составляет от 0,04 до 0,4 мг/м<sup>3</sup>.*

*Проблема кислотных осадков и ацидификации окружающей среды. Ацидификация – это антропогенный и природный процесс повышения кислотной реакции компонентов окружающей среды. В естественных условиях атмосферные осадки обычно имеют нейтральную или слабокислую реакцию, то есть показатель их кислотности обычно меньше 7,0 (pH ≤ 7). Кислотные осадки бывают двух типов: сухие, обычно выпадающие вблизи источника их поступления в атмосферу, и влажные (дождь, снег и пр.), распространяющиеся на большие расстояния, соизмеримые с размерами континентов, и потому зачастую превращающие проблему кислотных осадков в международную. Основные компоненты кислотных осадков – аэрозоли аммиака, оксидов серы и азота, которые при взаимодействии с атмосферной, гидросферой или почвенной влагой образуют серную, азотную и другие кислоты.*

*Кислотные осадки имеют как естественное, так и антропогенное происхождение. Основные природные источники – извержения вулканов, лесные пожары, дефляция почв и др. Источниками антропогенных кислотных осадков являются процессы сжигания горючих ископаемых, главным образом угля, в тепловых электростанциях, в котельных, в металлургии, нефтехимической промышленности, на транспорте и пр. Кислотные осадки оказывают пагубное влияние и на все компоненты географической оболочки. Происходит деградация и замедление роста лесов. Их влияние на растительность выражается в нарушении при прямом контакте, вымывании (выщелачивании) биогенов. Кислотные осадки способствуют мобилизации алюминия и других токсичных элементов.*

*Проблема деградации озонового слоя.* Основное количество озона находится в атмосфере на высоте 15-45 км с максимальной концентрацией на высотах 20-25 км (озоновый слой). При нормальном приземном давлении весь атмосферный озон образовал бы слой всего 3 мм толщиной. Даже при столь малой мощности озоновый слой в стратосфере играет очень важную роль, защищая живые организмы Земли от вредного воздействия ультрафиолетовой радиации Солнца. С воздействием жесткой ультрафиолетовой радиации связаны неизлечимые формы рака кожи, болезни глаз, нарушения иммунной системы людей, неблагоприятные воздействия на жизнедеятельность планктона в океане, снижение урожая зерновых и другие геоэкологические последствия.

Особенно большой интерес к озону возник в 70-е гг., когда были обнаружены антропогенные изменения содержания озона в результате выбросов в атмосферу окислов азота в результате атомных взрывов в атмосфере, полетов самолетов в стратосфере, при использовании минеральных удобрений и сжигании топлива. В связи с исключительной важностью озонового слоя для сохранения жизни на Земле в 1985 г. в Вене была подписана Конвенция по охране озонового слоя. В 1987 г. был подписан Монреальский протокол по запрещению выбросов озоноразрушающих веществ в атмосферу. В 1990 г. в Лондоне и в 1992 г. в Копенгагене были внесены поправки к последнему протоколу. Генеральная Ассамблея ООН в декабре 1994 г. приняла решение объявить 16 сентября международным днем охраны озонового слоя Земли.

*Воздействие деятельности человека на гидросферу* приводит к ухудшению геоэкологического состояния водных объектов и прилегающих к ним территорий. Оно проявляется в изменении водных запасов, гидрологического режима водотоков и водоёмов, а также качества вод. На водные объекты оказывают влияние одновременно многие *антропогенные факторы*. Любое хозяйственное использование вод сопровождается появлением отработанных вод или стоков, изменением физических и химических свойств воды.

Различают химические и физические воздействия на водные объекты. *Химические воздействия* – это поступления в водные объекты загрязняющих веществ, вызывающих изменение химического состава вод, сформированного естественным путём. *Физические воздействия* – это изменения физических параметров водных экосистем, которые приводят к нарушению естественных гидрохимических процессов и формированию вод нового состава.

Вследствие накопления в воде биогенных элементов происходит усиление биологической продуктивности водоёмов. Это приводит к ряду неблагоприятных экономических последствий: ухудшению качества воды, снижению рекреационной ценности водоёмов, уменьшению рыбной популяции, блокированию водосбросов и каналов. Наряду с обычным загрязнением воды увеличивается число катастрофических ситуаций. При технологической аварии в реку, озеро или подземные воды попадает значительный объём высокотоксичных вод, наносящих серьёзный и долговременный ущерб. В настоящее время наибольшее антропогенное

воздействие испытывают речные системы. Масштабы воздействия хозяйственной деятельности на ресурсы и качество воды болот, озёр и месторождений подземных вод значительно меньше.

Современное общество все больше осознает всеобъемлющее значение *Мирового океана* как источника колоссальных запасов полезных ископаемых, биологических ресурсов, средства для межконтинентальных связей, генератора и регулятора климата нашей планеты. Но в то же время человечество истощает природные ресурсы океана и загрязняет его акваторию. С каждым днем влияние антропогенной деятельности на Мировой океан, во многих случаях превосходящее естественные процессы, становится все более заметным и приводит к существенному нарушению его геоэкологического баланса. Устойчивость геосистемы Мирового океана основана на постоянстве среды. Это состояние учитывает поступление в океан вредных веществ, но в концентрациях, не вызывающих неблагоприятные последствия. Воздействие загрязнителей на биоту океана зависит от степени опасности, стойкости, агрегатного состояния, масштаба, продолжительности воздействия загрязнения и вида организма.

Одним из основных загрязнителей Мирового океана являются *нефтяные углеводороды* – нефть и нефтепродукты. Наиболее загрязнены нефтью районы интенсивного судоходства и морских нефтепромыслов. Больше всего нефти в океан поставляет суша посредством атмосферных осадков, речного и ливневого стока. Около трети нефти попадает в океан при морских перевозках, из нее более половины приходится на эксплуатационные сливы судов. Кроме того, источниками загрязнения нефтяными углеводородами являются аварии танкеров, морские нефтяные промыслы и естественное просачивание нефти из морского дна. Следующий загрязнитель океана – *химические вещества*, производимые человеком. Это кислоты, щелочи, продукты коксохимии, растворители, спирты, пестициды, гербициды, детергенты и т. д. Они оказываются в океане в результате аварий морских химовозов и поступлений с суши. В настоящее время в Мировой океан ежегодно сбрасывают около 30000 различных химических соединений, объемом до 1,2 млрд. т. Глобальный характер носит загрязнение океана *тяжелыми металлами*, прежде всего ртутью, свинцом, кадмием. Значительную опасность представляет загрязнение океана отходами атомной и военной промышленности. Быстро растет загрязнение океана твердым мусором.

Современное загрязнение Мирового океана характеризуется распространением на открытые районы океана, переносом загрязняющих веществ в более глубокие слои воды и их накоплением в морских организмах. Локальные загрязнения и их экологические последствия все чаще приобретают глобальный характер. Общие последствия загрязнения проявляются в накоплении химических, токсических веществ в биоте, микробиологическом загрязнении прибрежных районов, снижении биологической продуктивности, прогрессирующей эвтрофикации, возникновении мутагенеза и канцерогенеза, нарушении устойчивости экосистем. Загрязнение океана сказывается на

хозяйственной деятельности человека и его здоровье. Токсические вещества через трофические цепи вызывают у людей ряд специфических заболеваний.

*Деградация земель и почв.* Деградация земель происходит в результате долгосрочной потери естественного растительного покрова или его сильного нарушения. Она также связана с ухудшением физических, химических, биологических и агрономических свойств почв.

*Деградация земель* – снижение или потеря биологической и экономической продуктивности используемых человечеством земель. *Деградация почвы* – устойчивое ухудшение свойств почвы как среды обитания биоты, а также снижение ее плодородия в результате воздействия природных или антропогенных факторов. *Природными факторами деградации земель* являются климатические условия, природные запасы солей в почвообразующих породах, атмосферные переносы солей, пыли и песка, дефляция, эрозия почв, селевые потоки и другие. Основные причины *антропогенной деградации почв* мира: нерациональное ведение сельского хозяйства; перевыпас скота; ветровая и водная эрозия; техногенное загрязнение, засоление и заболачивание почв; отчуждение земель для промышленного и коммунального строительства, сведение лесов; опустынивание и другие.

*Эрозия почв* – разрушение и снос верхних наиболее плодородных горизонтов и подстилающих пород ветром (ветровая эрозия) или потоками воды (водная эрозия). Земли, подвергшиеся разрушению в процессе эрозии, называют эродированными. К *эрозионным процессам* относят также *промышленную эрозию* (разрушение сельскохозяйственных земель при строительстве и разработке карьеров), *военную эрозию* (воронки, траншеи), *пастбищную эрозию* (при интенсивной пастьбе скота), *ирригационную* (разрушение почв при прокладке каналов и нарушении норм поливов) и др. *Основными видами эрозии* в мире остаются *водная эрозия* (ей подвержены 31% суши) и *ветровая эрозия* (дефляция), активно действующая на 34% поверхности суши.

*Поверхностные слои почв легко загрязняются.* Большие концентрации в почве различных химических соединений отрицательно влияют на жизнедеятельность почвенных организмов. Теряется способность почвы к самоочищению от болезнетворных и других нежелательных микроорганизмов. Это вызывает тяжелые последствия для человека, растительного и животного мира. *Основные загрязнители почвы:* пестициды (ядохимикаты); минеральные удобрения; отходы и отбросы производства; газодымовые выбросы загрязняющих веществ в атмосферу; нефть и нефтепродукты. Почва обладает способностью накапливать весьма опасные для здоровья человека загрязняющие вещества, например, *тяжелые металлы*. Вблизи ртутного комбината содержание ртути в почве из-за газодымовых выбросов может повышаться допустимые концентрации в сотни раз. Значительное количество свинца содержат почвы, находящиеся в непосредственной близости от автомобильных дорог. Результаты анализа образцов почвы, отобранных на расстоянии нескольких метров от дороги, показывают 30-кратное превышение

концентрации свинца по сравнению с его содержанием в почве незагрязненных районов.

В процессе хозяйственной деятельности человек может усиливать природное засоление почв. Такое явление носит название *вторичного засоления* и развивается оно при неумеренном поливе орошаемых земель в засушливых районах. Во всем мире процессам вторичного засоления и осолонцевания подвержено около 30% орошаемых земель. Засоление почв ослабляет их вклад в поддержание биологического круговорота веществ. Исчезают многие виды растительных организмов, появляются новые растения галофиты (солянка и др.). Уменьшается генофонд наземных популяций в связи с ухудшением условий жизни организмов, усиливаются миграционные процессы.

*Заболачивание почв* наблюдается в сильно переувлажненных районах, например, на Западно-Сибирской низменности, в зонах вечной мерзлоты. Заболачивание почв сопровождается деградационными процессами в биоценозах, появлением признаков оглеения и накоплением на поверхности неразложившихся остатков. Заболачивание ухудшает агрономические свойства почв и снижает производительность лесов.

Значительный вклад в деградацию почв вносит *нерациональное ведение сельскохозяйственных работ*. Оно обуславливается применением крупной тяжелой техники, ее использованием на повышенных скоростях, увеличением размера обрабатываемых полей и использования пестицидов. Почвенный покров необратимо нарушается при *отчуждении земель для нужд несельскохозяйственного пользования*: строительства промышленных объектов, городов, поселков, для прокладки линейно-протяженных систем (дорог, трубопроводов, линий связи), при открытой разработке месторождений полезных ископаемых и т. д. В мире только при строительстве городов и дорог ежегодно безвозвратно теряется более 300 тыс. га пахотных земель.

*Опустынивание* обусловлено деятельностью человека и естественным изменением увлажнённости территории за счёт уменьшения количества осадков и усиления испарения. Оно приводит к истощению наземных экосистем (уменьшению биомассы, продуктивности, видового разнообразия). *Признаком опустынивания является сокращение покрытости почвы растительностью*. Значительная потеря многолетних растений, особенно деревьев и кустарников. Увеличение отражательной способности поверхности почвы, наступление песков, эрозия и засоление почв. Эти природные процессы типичны для аридных ландшафтов и регулируются естественным образом. Но многие изменения становятся необратимыми в результате действий человека. *Например*, неумеренная эксплуатация пастбищ, чрезмерное развитие дорожной сети, сведение лесов, химическое загрязнение почвы, вторичное засоление в результате нерационального орошения сельхозугодий.

*Опустынивание способствует обострению ряд экономических, социальных и экологических проблем, таких как:* бедность, плохое здоровье населения, уменьшение производительность сельского хозяйства, отсутствие продовольственной безопасности, сокращение количества и разнообразия

видов растений и животных, нехватка воды, снижение устойчивости к изменению климата, вынужденная миграция.

Опустынивание может происходить *в разных климатических условиях*, но особенно интенсивно оно протекает в жарких, засушливых районах. В Африке находится почти треть всех аридных областей мира; они широко распространены также в Азии, Латинской Америке и в Австралии. Опустыниванию подвергаются в среднем за год 6 млн. га обрабатываемых земель, которые полностью разрушаются, и свыше 20 млн. га снижают свою продуктивность. *В соответствии с климатическими условиями* пустыни и полупустыни должны занимать в мире площадь около 48,4 млн км<sup>2</sup> (включая ледниковые покровы, т. е. ледяные пустыни). Фактически, в соответствии с почвенно-ботаническими данными, их площадь достигает 58 млн км<sup>2</sup>. Таким образом, площадь антропогенных пустынь равна примерно 10 млн км<sup>2</sup>, или 6,7 % всей поверхности суши. Под угрозой опустынивания находится около 30 млн км<sup>2</sup> (19 %) суши Земли.

Пустыни являются малонаселенными засушливыми землями с суровым климатом. Однако многие виды флоры и фауны в процессе эволюции смогли удивительным образом адаптироваться к этим непростым условиям жизни. Обитающие в пустынях жабы зарываются в песок и пребывают в спячке в течение многих месяцев до тех пор, пока не пойдут дожди. Тогда они пробуждаются, начинают питаться, метать икру и выводить потомство. У некоторых обитающих в пустыне животных в результате эволюции удлинились уши или появились какие-либо другие особенности, помогающие им охлаждать организм. Другие животные полностью удовлетворяют свои потребности в воде за счет потребляемой ими пищи. В Намибии растение вельвечия удивительная (*Welwitschia mirabilis*) извлекает влагу из туманов, которые ежедневно опускаются на пустыню Намиб.

*Последствия опустынивания вызывают:* сокращение объемов производства продовольствия, снижение плодородия почвы и природной способности земли к восстановлению; усиление паводков в низовьях рек, ухудшение качества воды, осадкообразование в реках и озерах, заиление водоемов и судоходных каналов; ухудшение здоровья людей из-за приносимой ветром пыли, включая глазные, респираторные и аллергические заболевания и психологический стресс; нарушение привычного образа жизни пострадавшего населения, вынужденного мигрировать в другие районы. *Для засушливых территорий характерна нищета, так как:* бедняки, живущие в этих районах, и прежде всего женщины, редко участвуют в политической жизни. Они часто не имеют доступа к основным услугам, таким как здравоохранение, получение образования; население засушливых районов часто не имеет сельскохозяйственных предметов первой необходимости, таких как орудия труда, удобрения, вода, пестициды и семена. Производимую им продукцию из-за низкого качества редко удается продать по разумной цене; доступ к воде и реализация прав на пользование этим ресурсом часто затруднены. Управление водными ресурсами осуществляется неэффективно, что приводит к их чрезмерному использованию и засолению; земля нередко подвергается

чрезмерной обработке и перевыпасу скота, что приводит к снижению ее продуктивности; люди, проживающие в засушливых районах, в основном занимаются разведением домашнего скота и подсобным хозяйством. Они не имеют резервов продовольствия, денег, страховки или иных форм социальной защиты, которые помогли бы им пережить неурожайные годы.

*Мероприятия по предотвращению и борьбе с опустыниванием включают:* организацию долговременного экологического мониторинга процессов опустынивания, включая стационарные наблюдения и периодические аэрокосмические съемки территории; оптимизацию использования природных ресурсов, структуры сельскохозяйственных угодий, специализации хозяйств, совершенствование структуры посевных площадей, рациональное использование пастбищ; проведение комплексных мелиоративных мероприятий, защитное лесоразведение, борьбу с эрозией почв, улучшение солонцовых почв, рекультивацию нарушенных земель; расширение запасов водных ресурсов, регулирование поверхностного стока, поиск и добычу пресных подземных вод, защиту поверхностных и подземных вод от загрязнения; рациональное землепользование, разработку и освоение систем земледелия, обеспечивающих высокую и устойчивую продуктивность фитомелиорацию пастбищ, использование растений-закрепителей песка с последующим их включением в структуру растительного покрова пастбищ; охрану биоразнообразия, организацию заповедников и заказников, выделение водоохраных и пескозащитных зон; научные исследования и образование, фундаментальные исследования факторов опустынивания, слежение за современной динамикой опустынивания и составление прогнозных сценариев в зависимости от принимаемых мер по борьбе с опустыниванием; использование социально-экономических механизмов и увеличение роли межрегионального и международного сотрудничества в борьбе с опустыниванием.

*Обезлесение* – исчезновение леса в результате естественных причин и хозяйственной деятельности человека. Леса составляют около 85 % фитомассы Земли. Они играют важнейшую роль в биосфере и хозяйственной деятельности. Человек уничтожил не менее 10 млн км<sup>2</sup> лесов, содержащих 36 % фитомассы суши. *Главная причина сведения лесов* – увеличение площади пашни и пастбищ вследствие роста численности населения. Судьба лесов и история человечества на всех континентах были между собой теснейшим образом взаимосвязаны. Около 10 тыс. лет назад, до зарождения сельскохозяйственной деятельности, густые леса и другие покрытые лесом пространства занимали более 6 млрд. га поверхности суши. К концу XX столетия их площадь сократилась почти на 1/3 и ныне они занимают лишь немногим более 4 млрд. га.

*Обезлесение* приводит к снижению первичной биологической продуктивности, уменьшению поглощения углекислого газа растительностью. Сведение лесов влечёт за собой заметные изменения климатических условий на локальном, региональном и глобальном уровнях. Возрастающее беспокойство вызывает влияние обезлесения на уменьшение биологического разнообразия Земли. Обезлесение умеренного пояса к настоящему времени в основном

прекратилось, но продолжается сокращение площади тропических и экваториальных лесов. Потери находятся в пределах 11-20 млн га в год.

Существует много причин тропического обезлесения и комбинаций этих причин. Они различаются в разных странах и регионах мира. Основными причины обезлесения тропических и влажных экваториальных лесов являются: 1). Освоение новых земель под поля, плантации и пастбища, как крестьянами-переселенцами, так и крупными фирмами (в основном животноводческими). Новые дороги, прокладываемые в районах освоения, являются опорой для дальнейшей колонизации территории. 2). Расширение площади земли, используемой под подсечное земледелие. Это является следствием роста численности населения, которое использует этот метод землепользования. 3) Добыча древесины. В отличие от лесов умеренного пояса, в тропических лесах часто производится не сплошная, а выборочная рубка отдельных ценных видов деревьев. При их транспортировке из чащи к дороге гибнет значительное количество леса. Поэтому часто основной результат лесозаготовок не сокращение площади лесов, а их деградация. 4). Тропические леса удовлетворяют потребности местного населения в дровах. В большинстве африканских стран от 70 до 95% домашних потребностей в энергии для приготовления пищи, удовлетворяются за счет дров. 5). Другие факторы сокращения лесов – строительство плотин и водохранилищ, добыча и переработка полезных ископаемых (золото, железо, олово и др.), лесные пожары, нелегальная заготовка древесины и др.

По мнению ученых, основные *принципы эффективного управления территориями влажных тропических лесов* заключаются в следующем. Принятие во внимание экологических ограничений на всех стадиях осуществления хозяйственных проектов. Предоставление тропического леса для удовлетворения потребностей, не связанных с функционированием леса, допускается только после всесторонней (экономической, социальной и экологической) оценки проекта и в диалоге с местными жителями. Тропический лес может быть превращен в другие виды использования земель только в том случае, если доказано, что это выгоднее и целесообразнее, чем использование леса. Деградировавший лес должен и далее использоваться, где возможно, для хозяйственных целей, тогда как естественный лес должен сохраняться. Специальное внимание должно уделяться тем лесным территориям, основная задача которых – сохранение биологического разнообразия или осуществление водозащитных функций на водосборах. Население тропических лесов должно иметь возможность участвовать в их управлении. При управлении тропическими лесами часто не учитывается, что выгоды от их использования в их устойчивом состоянии могут приносить больше дохода, чем выгоды, связанные с расчисткой лесов и использованием древесины. Например, сбор плодов, ягод, лекарственных растений, каучука и пр. приносит не меньший, а часто и больший доход, чем вырубка леса. Следует учитывать, что леса играют важнейшую роль в стабилизации состояния биосферы. Стратегия управления тропическими лесами должна основываться на признании леса как общего и бесценного достояния человечества.

*Особенности хозяйственного использования лесов.* Леса выполняют множество функций для человечества: климатическую, гидрологическую, почвенную, экономическую, оздоровительную. Активно поглощают атмосферные загрязнения и выделяют кислород, необходимый для жизни населения и служат жилищем для многих животных. Фитонциды – активные летучие вещества, выделяемые хвойными растениями, уничтожают болезнетворные микроорганизмы. Лесные территории защищают почвы от процессов эрозии, предотвращая поверхностный сток осадков. И в то же время сложно представить нашу цивилизацию без тех продуктов, которые дает лес. Леса вырубают, чтобы получить древесину для различных отраслей промышленности, строительства, отопления и других целей. Человечеству следует грамотно управлять лесопользованием и чудесной способностью леса самостоятельно возобновляться.

*Для того чтобы остановить процесс обезлесения, необходимо рационально использовать лесные ресурсы. Для этого надо:* осуществлять мероприятия, направленные на сохранение леса и его биологического разнообразия; расширять уже имеющиеся и создавать новые особо охраняемые территории; проводить селекцию пород деревьев, стойких к экологическим нагрузкам; осуществлять борьбу с вредителями и болезнями лесов; осуществлять равномерное лесопользование без истощения ресурсов леса; увеличить территории для посадки новых лесов; использовать эффективные и наименее вредные методики лесоповала; внедрять эффективные меры по предотвращению лесных пожаров; обучать население навыкам бережного отношения к лесу; усилить на уровне государственной контроль за сохранением и использованием лесных ресурсов; создать систему учета и мониторинга лесов; совершенствовать лесное законодательство. В ряде стран имеются государственные программы хозяйственного освоения лесных территорий. Стратегия управления лесами должна основываться на признании леса общим достоянием человечества.

*Биологическое разнообразие* – совокупность всех форм живых организмов, населяющих нашу планету. Это богатство и многообразие жизни и её процессов. Оно включает разнообразие живых организмов, их генетических различий и мест обитания. *Биологическое разнообразие делится на три категории:* среди представителей одного вида (генетическое разнообразие), между различными видами и между экосистемами. На ландшафтном уровне закономерности биологического разнообразия определяются зональными природными условиями, местными особенностями климата, рельефа, почв, а также историей развития территории. Наибольшим видовым разнообразием отличаются (в убывающем порядке): влажные экваториальные леса, коралловые рифы, сухие тропические леса, влажные леса умеренного пояса, океанические острова, ландшафты средиземноморского климата, безлесные (саванновые, степные) ландшафты.

В связи с усилением антропогенного изменения биологического разнообразия проблема его сохранения приобрела глобальный характер. Согласно оценке биологического разнообразия, экспертами Программы ООН

по окружающей среде (ЮНЕП) угроза уничтожения грозит более 30 000 видам животных и растений. За последние 400 лет исчезли 484 вида животных и 654 вида растений. *Главные причины современного ускоренного снижения биологического разнообразия:* быстрый рост населения и экономического развития, значительно изменяющие условия жизни всех организмов и экологических систем Земли; увеличение миграции людей, рост международной торговли и туризма; усиливающееся загрязнение воздуха, природных вод и почвы; нерациональное использование природных ресурсов; отсутствие оценки истинной стоимости биологического разнообразия и его потерь. *Основные причины необходимости сохранения биологического разнообразия.* Все виды (какими бы вредными или неприятными они ни были для человека) имеют право на существование. Это положение записано во «Всемирной хартии природы», принятой Генеральной Ассамблеей ООН. Наслаждение природой, её красотой и разнообразием имеет высочайшую ценность, не выражающуюся в количественных показателях. Биологическое разнообразие – это основа эволюции жизненных форм. Снижение видового и генетического разнообразия подрывает дальнейшее совершенствование форм жизни на Земле. Экономическая целесообразность сохранения биоразнообразия обусловлена использованием дикой биоты для удовлетворения различных потребностей общества. *Например,* для селекции домашних растений и животных, изготовления лекарств, обеспечения населения продовольствием, топливом, энергией, древесиной и т. д.

## **1.2. Организм и факторы окружающей среды**

### **1.2.1. Адаптации живых организмов к факторам среды**

***Понятие о среде обитания, факторах окружающей среды и условиях существования живых организмов.***

*Среда обитания* – часть природы, которая окружает организм и с которой он непосредственно взаимодействует в течение своего жизненного цикла. Среда обитания каждого организма сложна и изменчива во времени и пространстве. Она включает множество элементов живой и неживой природы и элементов, привносимых человеком и его хозяйственной деятельностью. В экологии эти элементы среды называются *факторами*. Одни из них влияют на его жизнедеятельность, а другие для него безразличны. Присутствие одних факторов обязательно и необходимо для жизни организма, а других – необязательно. *Нейтральные факторы* – компоненты среды, которые не влияют на организм и не вызывают у него никакой реакции. *Например,* для волка в лесу безразлично присутствие белки или дятла, наличие гнилого пня или лишайников на деревьях. *Экологические факторы* – свойства и компоненты среды обитания, которые вызывают у организма приспособительные реакции – *адаптации*. *Условия существования (жизни)* – комплекс экологических факторов, без которых организм не может существовать в данной среде. Отсутствие в среде обитания хотя бы одного из

факторов этого комплекса приводит к гибели организма. К условиям существования растительного организма относятся наличие: воды, определенной температуры, света, углекислого газа, минеральных веществ. Для животного организма обязательными являются: вода, определенная температура, кислород, органические вещества. Экологические факторы, которые не являются жизненно важными для организма, хотя и могут влиять на его существование называют *второстепенными факторами*.

*Разнообразие экологических факторов по происхождению в среде обитания позволяет разделить их на три большие группы. Абиотические факторы* – элементы неживой природы, которые прямо или косвенно влияют на организм и вызывают у него ответную реакцию. Их подразделяют на четыре подгруппы: *климатические факторы* – все факторы, которые формируют климат в данной среде обитания (свет, газовый состав воздуха, осадки, температура, влажность воздуха, атмосферное давление, скорость ветра и т. д.); *эдафические факторы* (от греч. edafos – почва) – свойства почвы, которые разделяются на физические (влажность, комковатость, воздухо- и влагопроницаемость, плотность и т. д.) и химические (кислотность, минеральный состав, содержание органического вещества); *орографические факторы* (факторы рельефа) – особенности характера и специфика рельефа местности. К ним относятся: высота над уровнем моря, широта, экспозиция (положение местности относительно сторон света); *физические факторы* – физические явления природы (гравитация, магнитное поле Земли, ионизирующее и электромагнитное излучения и т. д.).

*Биотические факторы* – элементы живой природы, т. е. живые организмы, влияющие на организм и вызывающие у него ответную реакцию. Биотические факторы разделяют на две подгруппы: *внутривидовые факторы* – влияющим фактором является организм того же вида, что и данный организм; *межвидовые факторы* – влияние на данный организм оказывают особи других видов. В зависимости от того, кем является воздействующий организм, биотические факторы подразделяют на четыре основные группы: *фитогенные* (от греч. phytón – растение) факторы – влияние растений на организм; *зоогенные* (от греч. zóon – животное) факторы – влияние животных на организм; *микогенные* (от греч. múke s – гриб) факторы – влияние грибов на организм; *микробогенные* (от греч. micrós – малый) факторы – влияние микроорганизмов (вирусов, бактерий, протистов) на организм.

*Антропогенные факторы* – разнообразные виды деятельности человека, влияющей как на сами организмы, так и на их местообитания. В зависимости от способа воздействия выделяют две подгруппы антропогенных факторов: *прямые факторы* – непосредственное воздействие человека на организмы (скашивание травы, посадка леса, отстрел животных, разведение рыбы); *косвенные факторы* – влияние человека на среду обитания организмов самим фактом своего существования (поглощение кислорода и выделение углекислого газа, изъятие пищевых ресурсов) и через хозяйственную деятельность (сельское хозяйство, промышленность, транспорт, добыча полезных ископаемых, бытовая деятельность и т. д.). В зависимости от последствий воздействия эти

подгруппы антропогенных факторов в свою очередь еще подразделяют на факторы положительного и отрицательного влияния. *Факторы положительного влияния* (посадка и подкормка растений, разведение и охрана животных, охрана окружающей среды) повышают численность организмов или улучшают среду их обитания. *Факторы отрицательного влияния* (вырубка лесов, загрязнение окружающей среды, разрушение местообитаний, прокладка дорог и других коммуникаций) снижают численность организмов или ухудшают среду их обитания.

Большинство экологических факторов – температура, влажность, ветер, осадки, наличие укрытий, пищи, хищники, паразиты, конкуренты и т. д. – очень *изменчиво в пространстве и времени*. Степень изменчивости каждого из этих факторов зависит от особенностей среды обитания. *Изменения факторов среды во времени могут быть: регулярно-периодическими*, меняющими силу воздействия в связи со временем суток, или сезоном года, или ритмом приливов и отливов в океане; *нерегулярными*, без четкой периодичности, например, изменения погодных условий в разные годы, явления катастрофического характера – бури, ливни, обвалы и т. п.; *направленными на протяжении длительных отрезков времени*, например, при похолодании или потеплении климата, зарастании водоемов, и т.п.

Среди факторов среды выделяют *ресурсы и условия*. *Ресурсы окружающей среды* организмы используют, потребляют, тем самым уменьшая их количество. К ресурсам относят пищу, воду при ее дефиците, убежища, удобные места для размножения и т. п. *Условия* – это такие факторы, к которым организмы вынуждены приспосабливаться, но повлиять на них обычно не могут. Один и тот же фактор среды может быть ресурсом для одних и условием для других видов.

### ***Закономерности адаптации живых организмов к факторам окружающей среды.***

Приспособления организмов к среде носят название *адаптации*. Адаптация (от лат. adaptatio – прилаживание, приспособление) – признак или комплекс признаков, обеспечивающих выживание и размножение организмов в конкретной среде обитания. Под адаптациями понимаются любые изменения в структуре и функциях организмов, повышающие их шансы на выживание. *Способность к адаптациям* – одно из основных свойств жизни вообще, так как обеспечивает возможность организмов выживать и размножаться. Адаптации проявляются на разных уровнях: от биохимии клеток и поведения отдельных организмов до строения и функционирования сообществ и экологических систем.

Существует *два типа* приспособления к внешним факторам. *Первый* заключается в возникновении определенной степени устойчивости к данному фактору, способности сохранять функции при изменении силы его воздействия. Это пассивный путь - адаптация по принципу толерантности. Такой тип формируется как видоспецифическое свойство и реализуется на клеточно-тканевом уровне. *Второй* тип приспособления - активный. В этом случае

организм с помощью адаптивных механизмов компенсирует изменения таким образом, что внутренняя среда остается относительно постоянной.

*биохимические* – проявляются во внутриклеточных процессах, как, например, смена работы ферментов или изменение их количества; *физиологические* – например, усиление потоотделения при повышении температуры у ряда видов; *морфо-анатомические* – особенности строения и формы тела, связанные с образом жизни; *поведенческие* – например, поиск животными благоприятных мест обитания, создание нор, гнезд и т. п.; *онтогенетические* – ускорение или замедление индивидуального развития, способствующие выживанию при изменении условий.

Экологические факторы среды оказывают на живые организмы различные воздействия, т. е. могут влиять как: *раздражители*, вызывающие приспособительные изменения физиологических и биохимических функций; *ограничители*, обуславливающие невозможность существования в данных условиях; *модификаторы*, вызывающие морфологические и анатомические изменения организмов; *сигналы*, свидетельствующие об изменениях других факторов среды.

Любая ответная реакция организма на действие фактора среды в конечном итоге отражается на его жизнедеятельности. Характер воздействия и реакция на фактор среды со стороны организма определяется интенсивностью воздействия этого фактора, его дозировкой. Количественное влияние условий среды определяется тем, что естественные факторы (температура, соленость, влажность, кислород и др.) в определенной дозе необходимы для нормального функционирования, тогда как недостаток или избыток этого фактора угнетает жизнедеятельность. Количественное выражение фактора, соответствующее потребностям организма и обеспечивающее наиболее благоприятные условия для жизни, рассматривают как оптимальное. *Этот диапазон колебаний составляет зону оптимума (от лат. optimum – лучший, наилучший).* Адаптивные механизмы позволяют организму переносить определенные отклонения фактора от оптимальных значений без нарушения функций организма. *Такие условия определяются как зоны нормы.* Сдвиг в сторону недостатка или избытка фактора снижает эффективность адаптаций и нарушает развитие (замедление или приостановка роста, нарушение цикла размножения и линьки и т.д.). *Этому состоянию соответствуют зоны пессимума (от лат. pessimum – причинять вред, терпеть ущерб).* Наконец, за пределами этих зон действие фактора таково, что любые адаптации неэффективны. Эти крайние значения ограничивают диапазон количественных изменений фактора, за пределами которых жизнь невозможна.

Организм проявляет жизнедеятельность в определенном диапазоне воздействия фактора, ограниченном минимальным и максимальным значениями силы воздействия фактора, переносимыми организмом. *Пределы выносливости, или толерантности (от лат. tolerantia – терпение, выносливость)* – диапазон силы воздействия фактора, в котором возможна жизнедеятельность организма. Минимальное значение силы воздействия фактора, при котором начинается проявление жизнедеятельности организма, называется

экологическим минимумом или нижним пределом выносливости. А максимальное значение, при котором жизнедеятельность организма прекращается, – экологическим максимумом или верхним пределом выносливости.

Адаптация к любому фактору связана с затратами энергии. В зоне оптимума адаптивные механизмы отключены, и энергия расходуется только на основные жизненные процессы. За пределами оптимума включаются адаптивные механизмы. Их действие сопряжено с затратами энергии: чем дальше от оптимума находится количественное выражение фактора, тем больше энергии расходуется на адаптацию и тем меньше возможностей в проявлении других форм деятельности. В результате нарушения энергетического баланса организма ограничивается диапазон переносимых его изменений. Размах изменений количественного выражения фактора, в пределах которого существует вид, называется *экологической валентностью*. Ее величина различна у разных видов. Виды, переносящие большие отклонения фактора от оптимума, обозначаются термином «эври-» (от греч. euris – широкий). Виды, малоустойчивые к изменениям фактора, обозначаются термином «стено-» (от греч. stenos – узкий). *Например*: эври- и стенотермные организмы – это виды, соответственно устойчивые и неустойчивые к колебаниям температуры; эври- и стеногалинные виды реагируют на колебания солености воды; эври- и стенооксибионтные формы отличаются реакцией на содержание кислорода в воде. Если рассматривается устойчивость к изменениям комплекса факторов, говорят об эври- и стенобионтных формах.

*Экологическая валентность* формируется как приспособление к тем колебаниям фактора, которые свойственны естественным местам обитания вида. Поэтому, как правило, переносимый видом диапазон колебаний фактора соответствует его естественной динамике. Обитатели континентального климата выдерживают большую амплитуду колебания температуры, чем экваториальные виды. Рыбы из заморных водоемов переносят существенное снижение растворенного в воде кислорода, а виды из быстрых порожистых рек к этому не способны. Сходные отличия обнаруживаются и на уровне различных популяций одного вида, если они занимают отличающиеся по условиям места обитания.

В зависимости от пределов толерантности виды разделяют на две группы: стенобионты и эврибионты. *Стенобионты* (от греч. stenos – узкий) – виды организмов, имеющие узкие пределы толерантности и способные существовать на ограниченных территориях с относительно постоянными условиями среды. *Эврибионты* (от греч. eurys – широкий) – виды организмов, имеющие широкие пределы толерантности и способные заселять обширные территории со значительными колебаниями условий среды. Таким образом, стенобионты маловыносливы в отношении изменяющихся условий среды. Представители стенобионтов и эврибионтов являются типичными обитателями морей и пресных водоемов.

Помимо величины экологической валентности виды могут отличаться и *местоположением оптимума*. Приспособленные к высоким дозам фактора

организмы обозначаются окончанием «*фил*» (от греч. *phyleo* – люблю): термофилы, оксифилы, гигрофилы и т. д. Виды, обитающие при низких значениях фактора, имеют окончание «*фоб*» (от греч. *phobos* – страх): *галофобы* – обитатели пресных водоемов, не переносящие осолонения, *хионофобы* – виды, избегающие глубокого снега и др. Информация об оптимальных значениях факторов и о диапазоне переносимых их колебаний полно характеризует отношение вида к каждому фактору.

### ***Закономерности взаимодействие экологических факторов.***

*Комплексное воздействие экологических факторов.* В природе не бывает влияния только одного фактора. Организм всегда подвержен воздействию их сложного комплекса, где каждый из факторов неодинаково выражен относительно своего оптимального значения. Сочетание всех факторов в их оптимальном выражении практически в природе невозможно. В силу этого в естественных условиях обитания не реализуется чисто физиологическое понимание правила оптимума. Экологический оптимум не представляет собой сочетания всех факторов в оптимальном выражении. Это наиболее благоприятное сочетание всех или хотя бы ведущих факторов, каждый из которых несколько отклоняется от физиологического оптимума.

Совокупное действие на организм нескольких факторов среды обозначают термином «*констелляция*». Экологически важно то обстоятельство, что она не является простой суммой влияния факторов. При комплексном воздействии между факторами устанавливаются такие отношения, когда влияние одного фактора изменяет характер воздействия другого. Их действие на организм может компенсироваться, суммироваться и взаимно усиливаться. Компенсация факторов характерна в основном для сообщества, но возможна и на уровне вида. В сухом воздухе воздействие высоких температур переносится животными легче, чем при высокой влажности. Причина в том, что высокая влажность воздуха ограничивает испарение и этим выключает этот механизм приспособления.

Примером простого суммирования факторов является одновременное чувство холода и жажды у человека и животных. Действуя совместно, экологические факторы могут взаимно усиливаться, и, как следствие, изменяется жизнеспособность организма. Некоторые факторы среды, не воздействуя прямо, изменяют действие других факторов. *Например*, ветер помимо механического действия изменяет водный и энергетический обмен, способствуя охлаждению и усилению испарения. В северных регионах он определяет суровость погоды. Такой характер воздействия называется косвенным (или опосредованным). Изменяя воздействие основных экологических факторов, модифицирующие факторы влияют на условия жизни организмов и порой оказываются не менее важными, чем основные. Важным модифицирующим фактором является снежный покров. Он затрудняет передвижение и ухудшает условия добычи корма. Но снежный покров создает и благоприятные условия: при его достаточной высоте и сильном морозе

температура на почве может быть на 15-30 °С выше, что позволяет мелким млекопитающим вести активный образ жизни.

*Лимитирующий фактор.* Жизнедеятельность организма лимитирует (ограничивает) фактор, который больше всего отклонился от зоны оптимума. Если этот фактор выйдет за пределы толерантности, то организм погибнет. *Лимитирующий (ограничивающий) фактор* – фактор, наиболее отклонившийся от своего оптимального значения по сравнению с другими факторами и определяющий уровень жизнедеятельности организма в данной среде. Выявление лимитирующих факторов очень важно и в практике сельского хозяйства, так как, направив основные усилия на их устранение, можно быстро и эффективно повысить урожайность культурных растений или продуктивность домашних животных.

В 1840 г. немецкий химик *Юстус Либих*, разрабатывая систему применения минеральных удобрений, сформулировал *правило минимума*: возможность существования вида в определенном регионе и степень его процветания зависят от факторов, представленных в наименьшем количестве. Лимитирующие экологические факторы определяют ареал вида. Например, недостаток влаги ограничивает возможность заселения аридных зон. Как адаптация к лимитирующим факторам у животных сформировались некоторые формы поведения (солонцевание, водопойные миграции, кочевки вследствие многоснежья). Адаптация к лимитирующим факторам определяет перестройки морфологии и физиологии. *Например*, выход позвоночных животных на сушу был невозможен без адаптаций к малой плотности среды и низкой ее влажности.

*Правило двух уровней адаптации.* Организм обитает в сложных и изменчивых условиях среды, с которой поддерживает взаимосвязи, основанные на обменных процессах. Система устойчива в зависимости от того, насколько структура и физиологические свойства организма сохраняют свои особенности на фоне меняющихся внешних условий. В этом заключается принцип гомеостаза на уровне организма. *Гомеостаз* – это состояние динамического равновесия организма со средой, при котором он сохраняет свои свойства и способность к осуществлению жизненных функций на фоне меняющихся внешних условий. Если внешние условия в течение достаточно длительного времени сохраняются более или менее постоянными, то в организме функции стабилизируются на уровне, адаптированном по отношению к этому среднему состоянию среды.

Смена средних условий во времени или в пространстве влечет за собой переход на другой уровень стабилизации (сезонные температурные адаптации, смена типов осморегуляции при миграциях рыб и т. п.). Но полной сходности условий, их абсолютной повторяемости не бывает. В этом случае отклонениям конкретных условий от среднего уровня будут соответствовать адаптации, отвечающие на эти отклонения и направленные на обеспечение максимальной эффективности жизнедеятельности организма в пределах данного состояния. Способность к адаптациям тем выше, чем более лабилен данный фактор в

естественных условиях обитания вида. Это отражается на величине диапазона переносимых изменений фактора, т. е. на его экологической валентности.

По экологическому значению *адаптивные механизмы* можно разделить на *две группы*: механизмы, обеспечивающие адаптивный характер уровня стабилизации по отношению к наиболее устойчивым параметрам среды; лабильные реакции, поддерживающие относительное постоянство общего уровня стабилизации путем включения адаптивных реакций при отклонении условий среды от средних значений. Эти две системы, два уровня адаптации действуют совместно. Их взаимодействие обеспечивает точную подгонку функций организма к состоянию факторов и в конечном счете - устойчивое его существование в динамичных условиях среды. Эти два пути отражают стратегию и тактику адаптивного процесса и соответствуют масштабам колебаний внешних условий. Условия среды, вызывающие необходимость адаптивного ответа, могут быть выражены либо непродолжительными отклонениями параметров от их средних значений, либо устойчивыми изменениями среднего уровня воздействующих условий.

### 1.2.2. Температурные адаптации у живых организмов

#### *Влияние температуры на жизненные процессы.*

Влияние температуры на большинство организмов проявляется в регулировании биохимических и физиологических процессов жизнедеятельности, изменении характера поведения, географическом распределении организмов. Для температурного фактора характерны широкие географические, сезонные и суточные колебания (от  $-70$  до  $+60$  °С). Пределами толерантности для любого вида являются температуры, при которых наступают *денатурация белков, потеря активности ферментов и необратимое изменение коллоидных свойств цитоплазмы*. Диапазон переносимых температур у разных видов сильно варьирует, но, как правило, находится в пределах от 0 до  $+50$  °С.

На температурные условия конкретной местности влияет близость моря, рельеф и другие факторы. В прибрежных областях низких широт или во влажных тропиках режим температуры отличается большой стабильностью. *В горах* хорошо выражены вертикальный градиент температуры, зависимость температурного режима от экспозиции склона, его изрезанности и т. д. *В почве* температурные условия более сглажены. Если глубина растет в арифметической прогрессии, то амплитуда температуры уменьшается в геометрической прогрессии. Слой почвы, температура в котором в течение суток не изменяется, называют слоем суточной температуры. В умеренных широтах этот слой начинается с глубины 70-100 см. Слой постоянной годовой температуры в умеренных широтах залегает глубже 15-20 м. В умеренных широтах на глубине 2 м сезонные различия составляют всего 2 °С. *В воде океана* температурный режим отличается меньшими колебаниями. С глубиной амплитуда сезонных колебаний уменьшается. В континентальных водоемах температура не опускается ниже 0 °С (пресные водоемы), а верхний предел характерен для некоторых термальных источников: температура воды в них

держится около точки кипения и тем не менее там обитают некоторые прокариоты. Основное воздействие температуры на живые организмы выражается в изменении у них скорости обменных процессов. В живом организме химические процессы всегда идут с участием сложных ферментных систем, активность которых зависит от температуры. В результате катализа возрастает скорость биохимических реакций и меняется ее зависимость от внешней температуры.

*Правило Вант-Гоффа. Коэффициент температурного ускорения  $Q_{10}$ .* Величина температурного ускорения химических реакций выражается коэффициентом  $Q_{10}$ , показывающим, во сколько раз увеличивается скорость реакции при повышении температуры на  $10^{\circ}\text{C}$ :  $Q_{10} = K_{t+10}/K_t$ , где  $K_t$  – скорость реакции при температуре  $t$ . Коэффициент температурного ускорения  $Q_{10}$ , для большинства химических реакций равен 2-3, в реакциях живых систем колеблется в широких пределах даже для одних и тех же процессов, протекающих в разных диапазонах температуры. В одном и том же живом организме величина температурного ускорения биохимических реакций неодинакова для различных процессов. Это часто определяет пределы температурной устойчивости организма в целом. Это объясняется тем, что скорость ферментативных реакций не является линейной функцией температуры.

*Температурные пороги жизни, их верхний и нижний пределы. Верхний температурный порог* определяется температурой свертывания белков. Необратимые нарушения структуры белков обычно возникают при  $t = 60^{\circ}\text{C}$ . Обезвоживание организма повышает этот порог. В горячих источниках обитают бактерии при  $t = 70-105^{\circ}\text{C}$ . У большинства животных тепловая гибель наступает раньше, чем начинают коагулировать белки (при температуре тела  $42-43^{\circ}\text{C}$ ). Растения, обитающие в степях, саваннах и пустынях, выдерживают нагревание до  $50-60^{\circ}\text{C}$ . *Нижний температурный порог* определяется разной величиной  $Q_{10}$  отдельных реакций. У насекомых охлаждение подавляет механизмы, обеспечивающие приток кислорода к клеткам, сильнее, чем интенсивность клеточного дыхания. Теплолюбивые растения (влажные тропические леса, водоросли теплых морей) погибают при температуре менее  $0^{\circ}\text{C}$  из-за инактивации ферментов. Нижний температурный порог *определяется также температурой замерзания внеклеточной и внутриклеточной жидкостей.* При образовании кристаллов льда механически повреждаются ткани, что служит причиной холодовой гибели. Образование льда нарушает обменные процессы: обезвоживание цитоплазмы влечет за собой повышение концентрации солей, нарушение осмотического равновесия. Среди растений морозоустойчивые формы выдерживают полное зимнее промерзание. Сухие семена могут охлаждаться практически до абсолютного нуля ( $-273^{\circ}\text{C}$ ).

***Пойкилотермные и гомойотермные организмы. Терморегуляция у живых организмов.***

В зависимости от особенностей теплообмена выделяют две экологические группы организмов: *пойкилотермные и гомойотермные. Пойкилотермные* (от

греч. poikilos – изменчивый, меняющийся, thérme – тепло) – организмы, температура тела которых непостоянна и изменяется в широких пределах в зависимости от изменений температуры окружающей среды. К ним относят все растения, грибы, протисты, беспозвоночные животные, рыбы, земноводные и пресмыкающиеся. Особенность теплообмена у этих организмов заключается в том, что благодаря относительно низкому уровню метаболизма основным источником поступления тепловой энергии у пойкилотермов является внешнее тепло (эктотермность). Этим объясняется зависимость температуры тела от температуры среды. Но полное соответствие температуры тела и среды редко наблюдается и свойственно главным образом мелким организмам. В большинстве случаев существует некоторое расхождение. При низких и умеренных температурах среды температура тела организмов, не находящихся в состоянии оцепенения, оказывается более высокой, а в жарких условиях – более низкой. Причина превышения температуры тела над средой заключается в том, что даже при низком уровне обмена продуцируется эндогенное тепло. Оно и вызывает повышение температуры тела, особенно у активно двигающихся животных. Колебания температуры влекут за собой изменения скорости обменных реакций. В частности, скорость потребления кислорода увеличивается при повышении температуры. У растений в зависимости от температуры изменяются темпы поступления воды и питательных веществ через корни: повышение температуры до определенного предела увеличивает проницаемость протоплазмы для воды. При понижении температуры от 20° до 0°С поглощение воды корнями уменьшается на 60-70 %. Как и у животных, повышение температуры вызывает у растений также усиление дыхания. У животных зависимость от температуры заметно выражена в изменениях активности. Начало их активной деятельности определяется скоростью разогревания организма, зависящей от температуры среды и от прямого солнечного облучения. Влияние температуры на обменные процессы заметно в онтогенезе организмов: чем выше температура окружающей среды, тем быстрее они протекают в организме. Так, развитие икры сельди при  $t = 0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$  составляет 40-50 суток, а при  $t = 16\text{ }^{\circ}\text{C}$  - всего 6-8 суток.

*Эффективной температурой* называется температура выше минимального значения, при котором возможны процессы развития. Эту пороговую величину называют биологическим нулем развития). В большинстве случаев нижний порог развития превышает 0 °С. Эти два показателя отражают адаптацию вида к средним температурным режимам. *За пределами диапазона температуры активной жизнедеятельности организм не всегда погибает.* Он может переходить в состояние оцепенения (снижения уровня обменных процессов вплоть до полной потери видимых проявлений жизни). В таком пассивном состоянии пойкилотермные организмы могут переносить сильное повышение и особенно понижение температуры без патологических последствий (обладают высокой тканевой устойчивостью). Переход в состояние оцепенения следует рассматривать как адаптивную реакцию: организм не подвергается многим повреждающим воздействиям и не расходует

энергию. Сам процесс перехода в состояние оцепенения может быть формой перестройки реакции на температуру.

*Пойкилотермные организмы распространены во всех средах.* Виды, обитающие в холодном климате, отличаются большей устойчивостью к низким температурам и меньшей - к высоким. Обитатели жарких регионов – наоборот. Арктические рыбы показывают высокую устойчивость к низким температурам и весьма чувствительны к ее повышению. Переохлажденное состояние этих рыб поддерживается накоплением в жидкостях тела биологических антифризов – гликопротеидов, понижающих точку замерзания и этим препятствующих образованию кристаллов льда в клетках и тканях. У насекомых важную роль в переживании низких температур играет глицерин. Способность организмов переносить экстремальные температуры повышается при обезвоживании тканей. Например, обезвоженные коловратки переносят  $t = -190\text{ }^{\circ}\text{C}$ . У многих пойкилотермов содержание воды в теле меняется сезонно, повышая холодостойкость зимой.

Ряд пойкилотермов использует тепло, образующееся при работе мускулатуры, для создания временной независимости температуры тела. Многие насекомые во время полета имеют высокую и достаточно устойчивую температуру тела. При этом исходное разогревание организма до порога начала полета идет за счет внешнего тепла. Но ночные бабочки используют мускульное тепло и для стартового разогрева. Необходимая для взлета температура тела у них достигается дрожанием крыльев, переходящим затем в активные взмахи. Вибрация крыльев повышает температуру тела ( $37\text{-}39\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), что в свою очередь увеличивает частоту их движения. Быстро плавающие рыбы способны длительно поддерживать высокую температуру тела за счет мускульной активности. У тунцов мышечное тепло образуется в организме благодаря артериовенозным теплообменникам. Эффект выражается в том, что при изменениях температуры воды от  $10$  до  $30\text{ }^{\circ}\text{C}$  колебания температуры тела тунца составляют всего  $5\text{ }^{\circ}\text{C}$ . То же отмечено и у некоторых акул. Змеи используют высвобождающееся при мускульной деятельности тепло для стабилизации температуры вокруг кладки яиц. Для пчел характерна «общественная» регуляция температуры в улье путем трепетания крыльев. При адаптации к высокой температуре у пойкилотермных организмов распространено использование охлаждающего действия испарения влаги (растения) или дыхания (животные). Помимо испарения адаптации могут быть связаны с сосудистой регуляцией.

*Еще один способ приспособления к температурным условиям среды – адаптивное поведение.* Существуют два главных принципа поведенческой терморегуляции: *выбор мест с благоприятным микроклиматом и смена поз.* Способность к выбору мест с оптимальными условиями температуры, влажности и инсоляции отмечена практически у всех видов. Многие насекомые, пресмыкающиеся и амфибии активно отыскивают освещенные солнцем места для обогрева. Прыткая ящерица на солнце за  $20\text{-}25$  минут повышает температуру тела до  $33\text{-}37\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Пойкилотермные животные могут активно перемещаться в поисках мест прогревания. Некоторые из них

используют для прогрева тепло, накопленное песком, скалами либо прогретыми растениями. По способу обогрева рептилий делят на гелиотермных (нагревающихся на солнце) и геотермных (прогревающихся от субстрата). У водных животных отмечается перемещение от мелководий к глубоководьям. *Смена поз* – существенная форма адаптации теплообмена. Животные не только перемещаются на солнечные участки, но и принимают позы, при которых увеличивается прогреваемая солнцем поверхность.

Таким образом, температура тела пойкилотермных организмов, скорость физиологических процессов и их активность прямо зависят от температуры среды. Термические адаптации смягчают эту зависимость, но не снимают ее. Приспособления к конкретным температурам носят частный характер. В результате активная жизнедеятельность пойкилотермных организмов ограничена узкими пределами изменений внешней температуры.

*Гомойотермные организмы* (от греч. *hómoios* – одинаковый, сходный, *thérme* – тепло) – организмы, способные поддерживать относительно постоянную температуру тела при изменении температуры окружающей среды. К ним относятся два класса высших позвоночных – птицы и млекопитающие. Особенности их теплообмена заключаются в том, что адаптации к температурным условиям основаны на действии комплекса регуляторных механизмов поддержания теплового гомеостаза организма. Благодаря этому биохимические процессы всегда протекают в оптимальных температурных условиях. Гомойотермный тип теплообмена базируется на высоком уровне метаболизма. Интенсивность обмена веществ у этих животных на 1-2 порядка выше, чем у других, при оптимальной температуре среды. Высокий уровень метаболизма приводит к тому, что у гомойотермных животных в основе теплового баланса лежит использование собственной теплопродукции, а роль внешнего обогрева невелика. *Эндотермия* – важное свойство, благодаря которому снижается зависимость жизненных процессов организма от температуры внешней среды.

Гомойотермным организмам свойственна высокая и устойчивая температура тела. Для многих млекопитающих характерно снижение температуры во время сна (от десятых долей до 4-5 °С). В условиях обитания в жарком климате гипертермия (повышение температуры) может быть адаптивной: уменьшение разницы температуры тела и среды снижает затраты воды на испарение. Температура наружных слоев тела (покровы, часть мускулатуры) изменяется в широких пределах. Некоторые виды млекопитающих и птиц способны впадать в оцепенение, внешне сходное с холодным оцепенением пойкилотермных животных. При этом температура их тела снижается практически до уровня температуры окружающей среды. Нерегулярное оцепенение наблюдается у ласточек, стрижей, многих грызунов, некоторых сумчатых в связи с резким похолоданием, дождями или снегопадами. Сезонное оцепенение, которое принято называть зимней спячкой, характерно для сурков, сусликов, ежей, белок, летучих мышей, бурых медведей. Названные выше виды птиц и млекопитающих выделяют в

отдельную группу *гетеротермных животных* (от греч. *héteros* – иной, другой, *thérme* – тепло).

*Терморегуляция у живых организмов осуществляется различными путями.* Процесс рефлекторного усиления теплопродукции в ответ на снижение температуры среды называется *химической терморегуляцией*. Тепло постоянно вырабатывается в организме в процессе окислительно-восстановительных реакций. При этом чем больше разница температур тела и среды, тем большая его часть уходит во внешнюю среду. Поэтому поддержание температуры тела при снижении температуры среды требует усиления процессов метаболизма и теплообразования, что компенсирует теплотери и ведет к сохранению теплового баланса.

*Специфика гомойотермных животных* состоит в том, что изменение теплопродукции как реакция на изменение температуры представляет у них специальную реакцию организма, не влияющую на уровень функционирования физиологических систем. Терморегуляторное теплообразование сосредоточено в скелетной мускулатуре и связано с особыми формами работы мышц, не затрагивающими их прямую моторную деятельность. При охлаждении теплообразование может происходить и в покоящейся мышце. Один из механизмов теплообразования – *терморегуляционный тонус*. Он вызван сокращениями фибрилл (повышение электрической активности мышцы при ее охлаждении). Терморегуляционный тонус увеличивает потребление кислорода мышцей более чем на 150 %. При более сильном охлаждении встречаются сокращения мышц в форме холодной дрожи.

*Теплообмен организма со средой сбалансирован.* В определенном интервале температуры среды теплопродукция компенсируется минимальной теплоотдачей. Этот температурный интервал называют *термонеutralной зоной*. Уровень обмена в этой зоне невысокий. Понижение температуры за пределы термонеutralной зоны вызывает повышение уровня обмена веществ и выделения тепла для уравновешивания теплового баланса в новых условиях. В силу этого температура тела остается постоянной. Снижение температуры за пределы эффективной терморегуляции приводит к нарушению теплового баланса, переохлаждению и гибели. Повышение температуры среды за пределы термонеutralной зоны тоже влечет за собой повышение уровня метаболизма, что вызвано включением механизмов отдачи тепла. По достижении определенного порога механизмы усиления теплоотдачи становятся неэффективными, начинается перегрев и гибель организма.

*Физическая терморегуляция* объединяет комплекс морфофизиологических механизмов, связанных с регуляцией теплоотдачи. Механизм действия покровов (перьевого и волосяного) заключается в том, что они удерживают слой воздуха, который выполняет роль теплоизолятора и уменьшают теплотери организма. Функции покровов сводятся к перестройке их структуры (соотношения различных типов волос или перьев, их длина и густота). По этим параметрам отличаются обитатели различных климатических зон: у тропических млекопитающих изоляционные свойства шерсти на порядок ниже, чем у полярных.

*Теплоотдача путем испарения влаги с поверхности тела и верхних дыхательных путей.* При испарении расходуется тепло, что способствует сохранению теплового баланса. Реакция включается обычно при признаках перегрева. Усиление потоотделения не прямо зависит от температуры среды, а начинается по достижении определенного порога ее повышения. Интенсивность потоотделения возрастает пропорционально повышению температуры среды. Некоторые виды животных (сумчатые) для охлаждения организма используют испарение слюны.

*Охлаждение путем испарения с поверхности слизистых оболочек ротовой полости и верхних дыхательных путей.* Этот процесс при высокой температуре сопровождается учащенным дыханием. У верблюда при жаре частота дыхания возрастает до 8-18 в минуту (обычно 6-11), у крупного рогатого скота – до 250, у собак (нет потоотделения) – до 300-400 при 20-40 в норме. У птиц потовых желез нет, и влаготдача связана только с усилением вентиляции ротовой полости и верхних дыхательных путей. По мере нарастания температуры воздуха частота дыхания увеличивается постепенно, а горловая дрожь включается при определенном температурном пороге. Включению механизмов испарительной теплоотдачи предшествует повышение внутренней температуры.

*Сосудистые реакции.* Они служат приспособлением как к повышению температуры среды, так и ее понижению. При повышении температуры происходит расширение мелких кровеносных сосудов, что ведет к усилению отдачи тепла. Эта форма регуляции наиболее характерна для млекопитающих с относительно коротким и редким мехом; у птиц – это неоперенные участки тела (голова и лапы).

*Терморегуляция может дополняться адаптивным поведением.* Биологическая роль поведенческих адаптаций заключается в создании условий для экономного расходования энергии на терморегуляцию. *Одна из форм поведения – использование микроклимата.* Выбор мест определяются укрытостью от ветра, сглаженными суточными перепадами температур и т.д. Для птиц имеет значение выбор мест ночлега. Например, в густых кронах и зарослях тростника температура может быть на 5-8 °С выше, чем на открытом месте. Экономия энергозатрат на ночевках также достигается образованием тесных скоплений. В северных широтах многие млекопитающие и некоторые птицы в зимнее время используют теплоизолирующие свойства снежного покрова.

В ряде случаев, когда затруднена терморегуляция, некоторые млекопитающие и птицы впадают в *состояние оцепенения*. Это состояние организма, характеризующееся пониженной температурой тела, называется *обратимой гипотермией*. Оно характеризуется тем, что животное, обычно эффективно регулирующее температуру тела, снижает ее до уровня окружающей среды и впадает в анабиоз. При этом оно находится в укрытии и не проявляет внешних признаков жизни: редкое дыхание, уровень метаболизма значительно снижен, экскреты не выделяются. *Обратимая гипотермия может быть выражена 3 формами. Нерегулярное оцепенение, связанное с резким*

похолоданием, дождем и т.д. (стрижи, ласточки, сумчатые, некоторые грызуны). При нормальных условиях быстро восстанавливается температура тела. *Суточные циклы* смены активного состояния и оцепенения (колибри, летучие мыши). *Сезонные циклы*, или зимняя спячка (грызуны, рукокрылые, сумчатые, однопроходные, насекомоядные, медведи).

### ***Адаптации растений и животных к различным температурным условиям.***

По потребности к количеству тепла растения разделяют на три экологические группы: *теплолюбивые, мезотермные и холодостойкие*. *Теплолюбивые растения* произрастают в тропическом, субтропическом поясах и хорошо прогреваемых местообитаниях умеренного пояса. У теплолюбивых растений выработались адаптации к действию высоких температур. *Мезотермные и холодостойкие растения*, населяющие умеренный и холодный пояса, вынуждены адаптироваться к низким температурам.

Все *адаптации растений к температуре* можно разделить на три типа: *биохимические, физиологические и морфологические*. *Биохимические адаптации*. При высокой температуре в цитоплазме клеток теплолюбивых растений увеличивается содержание защитных веществ (органических кислот, солей, слизи), препятствующих ее свертыванию и нейтрализующих токсичные вещества. У холодостойких растений при низких температурах происходит накопление углеводов (в основном глюкозы) в клеточном соке, что снижает точку замерзания воды.

*Физиологические адаптации*. Эффективной защитой растений от перегрева служит усиленная транспирация (испарение воды), благодаря большому количеству устьиц. У растений пустынь и степей короткий цикл развития позволяет избегать действия высоких температур. Вся вегетация у них происходит ранней весной. А летнюю жару они переживают в состоянии покоя (в виде семян, луковиц, клубней или корневищ). Крайней мерой в борьбе с холодом или жарой является переход растений в *состояние анабиоза* (обратимая приостановка жизненных процессов) вследствие обезвоживания. Например, мхи и лишайники.

*Морфологические адаптации*. Действие высоких температур на растения субтропического и тропического поясов снижается за счет усиления отражения солнечных лучей и уменьшения светопоглощающей поверхности. Повышению отражения солнечного света способствует светлая окраска листьев, их блестящая или опушенная поверхность. Уменьшение поглощения света достигается благодаря видоизменению листовых пластинок: *колючки* (кактусы), *уменьшение размера* (саксаул), *рассеченность* (пальмы), *сворачивание* (ковыль) или *складывание листьев* (некоторые деревья саванн). Противостоит перегреву растений вертикальное по отношению к солнечным лучам расположение листьев или изменение угла их наклона поворотом листовой пластинки. Адаптации у растений холодного климата проявляются в виде формирования карликовых (березы, ивы), стелющихся (кедровый стланец, можжевельник туркестанский) и подушковидных (высокогорные и арктические

растения-подушки) жизненных форм. Такие растения меньше подвержены воздействию ветра, лучше укрыты снегом зимой, полнее используют тепло почвы летом. Адаптациями, как к высоким, так и к низким температурам у растений являются: развитие мощной корки (наружной части коры) у деревьев, перидермы у молодых побегов, защитных чешуй у почек, прочной кожуры у семян.

*Развитие растений происходит при определённой температуре.* Количество тепла, необходимое растениям для полного завершения их вегетации, называют суммой биологически активных температур (БАТ). Она рассчитывается как сумма среднесуточных значений температуры воздуха за период, когда воздух прогревается выше плюс 5 или 10 °С. Суммы БАТ рассчитаны для всех культурных растений. С их помощью можно определять и продолжительность активной вегетации, средние сроки наступления различных фаз развития сельскохозяйственных растений и созревания урожая в различных природно-климатических районах. Кроме БАТ, для оценки термических условий выращивания сельскохозяйственных культур учитывают экстремальные температуры в различные периоды вегетации, продолжительность безморозного периода и другие показатели.

*Все виды адаптации животных к различным температурным условиям по механизму действия разделяют на: биохимические, физиологические, морфологические, поведенческие. Биохимические адаптации.* У пойкилотермных животных при переохлаждении происходит накопление «биологических антифризов» (веществ, понижающих точку замерзания воды) в жидкостях тела. Такими веществами у рыб являются гликопротеиды, у насекомых – глицерин, гликоген, высокие концентрации глюкозы. У арктических и антарктических рыб отмечается повышенное содержание ненасыщенных жирных кислот в составе жиров, что снижает температуру их затвердевания. У гомойотермных организмов борьба с переохлаждением происходит за счет повышения интенсивности обмена веществ. У млекопитающих усиливается расщепление особой жировой ткани (бурого жира), богатой митохондриями и пронизанной многочисленными кровеносными сосудами.

*Физиологические адаптации.* У пойкилотермных организмов регуляция теплообмена происходит благодаря особенностям строения кровеносной системы. Большое значение для терморегуляции у пойкилотермных животных имеет наличие артериовенозных «теплообменников». Сосуды, выходящие из мышц, тесно соприкасаются с сосудами, идущими от кожи. Кровь кожи согревает кровь мышц, и в глубь тела она поступает теплой. Отдав свое тепло, охлажденная мышечная кровь вновь направляется к поверхности тела. При высоких температурах, как у пойкилотермных, так и у гомойотермных организмов теплоотдача может усилиться за счет испарения влаги с поверхности тела, слизистых оболочек ротовой полости и верхних дыхательных путей (потоотделение, тепловая одышка и др.).

*Морфологические адаптации.* Уменьшению потерь тепла у организмов способствуют теплоизолирующие покровы (роговой – у пресмыкающихся,

перьевой – у птиц, волосяной – у млекопитающих) и подкожный жир, особенно выраженный у обитателей холодного климата (ластоногие и китообразные).

*Поведенческие адаптации.* У *пойкилотермных животных* существует два типа поведенческих адаптаций: активный выбор мест с наиболее благоприятным температурным режимом и смена поз. В первом случае насекомые, пресмыкающиеся и земноводные активно отыскивают освещенные солнцем места. Получив необходимое количество тепла, животные перемещаются в тень или прячутся в норах и поддерживают температуру за счет мышечных сокращений. У водных животных перемещение происходит между мелководными, хорошо прогреваемыми зонами, и более глубоководными прохладными участками. *Смена поз* позволяет изменять поверхность тела, прогреваемую солнечными лучами. Например, морские игуаны на Галапагосских островах рано утром или в пасмурную погоду принимают «распростертые» позы, всем телом прижимаясь к субстрату. Это обеспечивает максимальную поверхность обогрева солнцем. Для *гомойотермных животных* также характерно адаптивное поведение в виде выбора мест для защиты от холода или жары, сезонных миграций, зарывания в снег, образования тесных скоплений особей для снижения энергозатрат на терморегуляцию и т. д.

*Влияние температуры воздуха на организм человека.* Температура воздуха является активным эколого-метеорологическим фактором. Постоянство температуры человека – основа его жизни. В тоже время, человек способен переносить существенные контрастно-экстремальные температурные нагрузки. Продолжительность безопасного пребывания полностью обнаженного здорового человека при температуре  $+70\text{ }^{\circ}\text{C}$  в камере искусственного климата не превышает одного часа, при температуре  $-70\text{ }^{\circ}\text{C}$  – не более 10 минут. Безопасность пребывания можно увеличить, подбирая соответствующую одежду и бытовые условия. И все же время непрерывного проживания при таких температурах в условиях Арктики и Антарктики не должно превышать 2-3 года.

*Влияние температуры воздуха на тепловое ощущение человека зависит от влажности воздуха.* В умеренных широтах для одетого человека наиболее комфортны сочетания температуры  $18-20\text{ }^{\circ}\text{C}$  и относительной влажности 40-50 %. При влажности более 90 % и температуре более  $24\text{ }^{\circ}\text{C}$  возникает состояние сильной духоты. При температуре воздуха около  $35-40\text{ }^{\circ}\text{C}$  и относительной влажности более 75 % часто наступает *тепловой удар*. Явлению теплового удара сопутствует выполнение трудоемкой работы с длительным пребыванием на солнце. При этом у людей, страдающих ожирением, склонным к сосудистым расстройствам, болезням сердца, щитовидной железы, почек и т.д. тепловой удар наблюдается чаще, чем у здоровых людей. У человека, подвергшегося тепловому удару, появляются бледность, иногда – судороги. Смерть наступает от кровоизлияния в мозг или паралича сердца. В физиологическом отношении явление теплового удара сводится к следующему. Из-за сильного потоотделения ткани организма обедняются солями и водой, увеличивается вязкость крови, затрудняется кровообращение. Вследствие этого

возникает недостаточное снабжение организма человека кислородом, переходящее в асфиксию (кислородное голодание) и сопровождающееся накоплением углекислоты.

Также опасны для человека отрицательные температуры воздуха, особенно в сочетании с сильным ветром и повышенной влажностью воздуха. Неблагоприятным следствием воздействия холода являются простудные заболевания легких и верхних дыхательных путей. Одним из проявлений влияния холода является обморожение. *Первая стадия* обморожения – озноб. Он характеризуется синюшностью, отечностью кожи, зудом и болями. Во *второй стадии* отмечается повреждение поверхностного слоя кожи и развитие пузырей со светлым содержимым. В *третьей и четвертой стадии* омертвляются все мягкие ткани и кости. Непосредственной причиной смерти при замерзании является остановка дыхания и прекращение деятельности сердца.

*Влияние солнечной радиации на организм человека.* Воздействие солнечной радиации во многом определяет радиационный и тепловой баланс организма человека. Действие солнечных лучей зависит от высоты солнца над горизонтом, прозрачности атмосферы, а также от облачности, влажности, температуры воздуха и скорости ветра. Большое значение имеют индивидуальные особенности организма человека. Альbedo кожи человека для ультрафиолетовых лучей в среднем равно 1-3%, т.е. 97-99 % этих лучей поглощается кожей. С увеличением длины волны альbedo кожи резко возрастает. Поглощенная телом часть лучистой энергии (60-65 %) проникает под внешний кожный покров и влияет на более глубокие части тела. В итоге повышается как температура поверхности кожи, так и температура всего тела. При продолжительном и интенсивном воздействии солнечных лучей уменьшается мышечный тонус, возникает застой крови, приводящий к нарушению деятельности сердца, перегреву организма и тепловому удару. В результате поглощения видимых и инфракрасных (тепловых) лучей, сразу же наступает покраснение облученных участков кожи.

В ответ на раздражение светом появляется *пигментация* – так называемый загар кожи. Он развивается под влиянием как ультрафиолетовых, так и инфракрасных и видимых лучей. Защитная функция пигмента выражается в предохранении кожи от перегревания. Поглощенная им световая энергия превращается в тепло, что ведет к усилению потоотделения, а тем самым к усилению теплоотдачи. УФ-излучение солнца в небольших дозах полезно для людей и необходимо для выработки витамина D. УФ-излучение также используется для лечения некоторых болезней, таких как рахит, псориаз, экзема и желтуха. В тоже время длительное воздействие на человека солнечного УФ-излучения может привести к острым и хроническим последствиям для здоровья – для кожи, глаз и иммунной системы.

### 1.2.3. Водно-солевой обмен живых организмов

#### ***Водная среда жизни биоты.***

*Водная среда жизни биоты характеризуется:* высокой плотностью, особыми температурным, световым, газовым и солевым режимами. *Плотность воды* в 800 раз превышает плотность воздуха (благодаря высокой плотности вода служит опорой для организмов). На разных глубинах организмы испытывают разное давление воды. Оно возрастает на 1 атм каждые 10 м (в связи с этим организмы имеют более широкие пределы выносливости).

В воде температура изменяется в меньшей степени, чем на суше из-за высокой удельной теплоемкости и теплопроводности воды. Повышение температуры воздуха на 10 °С вызывает повышение температуры воды на 1 °С. С глубиной температура постепенно снижается. На больших глубинах температурный режим относительно постоянен (не выше +4 °С), а в верхних слоях наблюдаются суточные и сезонные колебания (от 0 до +36 °С). Для большинства гидробионтов требуется стабильная температура. Для них губительны даже небольшие отклонения температуры, вызванные сбросом предприятиями теплых сточных вод.

Света в воде меньше, чем в воздухе, так как часть солнечных лучей отражается от ее поверхности, а часть поглощается в толще воды. День под водой короче, чем на суше. Летом на глубине 30 м день составляет 5 ч, а на глубине 40 м – 15 мин. Быстрое убывание света с глубиной связано с его поглощением водой. Граница зоны фотосинтеза в морях находится на глубине около 200 м, а в реках – на глубине 1,0-1,5 м и зависит от прозрачности воды. Прозрачность воды в реках и озерах сильно снижается из-за загрязнения взвешенными частицами. На глубине более 1500 м свет практически отсутствует.

В водной среде содержание кислорода в 20-30 раз меньше, чем в воздухе, поэтому он является лимитирующим фактором. Кислород поступает в воду за счет фотосинтеза водных растений и способности кислорода воздуха растворяться в воде. При перемешивании воды содержание кислорода в ней возрастает. Верхние слои воды богаче кислородом, чем нижние. При дефиците кислорода наблюдаются *заморы* (массовая гибель водных организмов). *Зимние заморы* бывают, когда водоемы покрываются льдом. *Летние заморы* - когда из-за высокой температуры воды уменьшается растворимость кислорода и повышается концентрация токсичных газов - метана, сероводорода, образующихся в результате разложения отмерших организмов без доступа кислорода.

Из-за непостоянства концентрации кислорода большинство водных организмов по отношению к нему являются *эврибионтами*. Но есть и *стенобионты* (форель, планария, личинки поденок и ручейников), которые не переносят недостатка кислорода и являются индикаторами чистоты воды. Углекислый газ растворяется в воде в 35 раз лучше кислорода и его концентрация в ней в 700 раз выше, чем в воздухе. В воде CO<sub>2</sub> накапливается благодаря дыханию водных организмов, разложению органических остатков.

Углекислый газ обеспечивает фотосинтез и используется при образовании известковых скелетов беспозвоночных.

Соленость воды играет важную роль в жизни гидробионтов. Природные воды по содержанию солей разделяют на группы, пресные, солоноватые и соленые. В Мировом океане солёность составляет в среднем 35 г/л. Самое высокое содержание солей в солёных озерах (до 370 г/л). Типичные обитатели пресных и солёных вод являются *стенобионтами*. Они не переносят колебаний солёности воды. *Эврибионтов* сравнительно немного (лещ, судак, щука, угорь, колюшка, лосось и др.). Они могут жить как в пресной, так и в солёной воде.

#### *Адаптации растений и животных по отношению к влаге.*

В наземных условиях влажность чаще лимитирует рост и развитие организмов, так как вода играет большую роль в их жизни. Она является универсальным растворителем, средой для биохимических реакций в клетке. Молекулы воды могут непосредственно участвовать в реакциях как субстрат (гидролиз, фотосинтез). Являясь основным структурным компонентом клеток, вода обуславливает их тургор, а у некоторых животных (круглые и кольчатые черви) служит гидростатическим скелетом. Обладая высоким поверхностным натяжением, вода выполняет транспортную функцию (передвижение веществ) в организме. Благодаря высокой удельной теплоемкости, теплопроводности и теплоте парообразования вода обеспечивает поддержание теплового баланса в организме и предотвращает его перегрев. Она служит средой обитания для водных организмов.

Увлажненность наземных местообитаний сильно различается и зависит от среднемесячного количества осадков, их распределения по временам года, запаса почвенной влаги и грунтовых вод. Недостаточная или избыточная увлажненность среды – главная экологическая проблема наземных обитателей. Степень увлажненности среды влияет на внешний облик и внутреннее строение организмов. В связи с этим выделяют различные экологические группы растений и животных.

А

д

а

п

т

а

ц

и

и

р

а

с

т

е

н

и

й

характерно наличие листьев разной формы в зависимости от того, где они находятся: в воде или на воздухе (кувшинка, стрелолист). Пыльца, плоды и семена водных растений приспособлены к распространению водой. Они имеют пробковые выросты или прочные оболочки, предотвращающие попадание воды внутрь и загнивание.

*Экологические группы растений суши по отношению к влаге и их адаптации.* Принято делить все наземные растения на *три экологические группы* по отношению к влаге: *гигрофиты, ксерофиты, мезофиты*. Эти группы различаются между собой специфическими приспособлениями к водному режиму среды.

*Гигрофиты* (от греч. *hygrós* – влажный, *phytón* – растение) – растения, живущие на сильно увлажненных почвах и при высокой влажности воздуха (осоки, пушица, рис, тростник, калужница болотная, папирус и др.) Они встречаются во всех климатических зонах. Гигрофиты имеют приспособления для интенсивной транспирации. У них тонкие листовые пластинки с постоянно открытыми устьицами, есть специфические «водяные устьица», через которые выделяется вода в капельножидком состоянии. У гигрофитов слабо развиты механическая ткань, кутикула и эпидермис. В мезофилле листьев у них имеются крупные межклетники, а у некоторых видов в корнях и стеблях возможно наличие *аэренхимы* (от греч. *аér* – воздух, *énchyma* – ткань) – ткани, запасующей воздух в межклетниках (болотные гигрофиты). Слабо развита корневая система (корни тонкие, часто без корневых волосков). Гигрофиты не способны перенести даже небольшой недостаток влаги в почве и быстро увядают.

*Мезофиты* (от греч. *mesós* – средний) – растения, обитающие в условиях умеренного увлажнения. Они способны переносить кратковременный недостаток влаги. К ним относится большинство листовых древесных растений, луговые и многие лесные травы, злаки, сорняки, почти все культурные растения умеренной зоны. Это наиболее распространенная экологическая группа растений. У них умеренно развита корневая система, имеются корневые волоски, небольшое количество устьиц. В зависимости от обеспеченности влагой устьица могут в любое время открываться или закрываться. В семенах у мезофитов, обитающих в степях и пустынях, содержится ингибитор (замедлитель) прорастания, который вымывается лишь при количестве осадков. Такое приспособление предотвращает прорастание семян и гибель проростков в период засухи.

*Ксерофиты* (от греч. *xérox* – сухой, *phytón* – растение) – растения, приспособившиеся к жизни в засушливых местах (степи, пустыни, полупустыни, саванны, высокогорья). Они способны длительно выдерживать недостаточное увлажнение. Приспособленность ксерофитов к сухим местообитаниям связана с ограничением затрат воды на транспирацию, с активным добыванием воды при ее недостатке в почве либо с запасанием воды в тканях и органах на время засухи. В зависимости от типа адаптаций выделяют *две формы ксерофитов – суккуленты и склерофиты*.

*Суккуленты* (от лат. *succulentus* – сочный) – многолетние растения, способные запасать воду в своих тканях и органах, а затем экономно ее расходовать. В зависимости от того, в каких органах запасается вода, различают *три типа суккулентов: листовые, стеблевые и корневые*. *Листовые суккуленты* накапливают воду в мясистых листьях. Из курса географии вы знаете, что они встречаются в засушливых областях Центральной Америки (агава), Африки и Средней Азии (алоэ), а также на сухих песчаных почвах в наших широтах (очиток, молодило). *Стеблевые суккуленты* имеют сильно развитые водозапасающие ткани в коре и сердцевине стебля. Они широко представлены в американских пустынях (кактусы) и засушливых областях Африки (молочай). *Корневые суккуленты* запасают воду в тканях подземных частей растений. Растущее в Мексике невысокое дерево сейба мелколистная имеет на корнях вздутия диаметром до 30 см, в которых накапливается вода. Эпидермис у этих растений покрыт мощной кутикулой, часто имеется восковой налет или густое опушение. Немногочисленные устьица погруженного типа днем чаще всего закрыты. У стеблевых суккулентов листья редуцированы до колючек (кактусы). Функция фотосинтеза перешла к стеблю, который приобрел зеленый цвет.

*Склерофиты* (от греч. *sclerós* – твердый) – растения со сниженной транспирацией и способностью активно добывать воду при ее недостатке в почве (полынь, ковыль, саксаул, бодяк, чертополох). Они не запасают влагу на период засухи, а добывают ее и экономно расходуют. Обитают склерофиты преимущественно в степях и пустынях, засушливых местообитаниях умеренной зоны. Склерофиты имеют сухие жесткие листья и стебли, покрытые толстой кутикулой. Из-за сильного развития механических тканей при водном дефиците у них не наблюдается увядания. Они могут переносить глубокое обезвоживание и без заметного ущерба терять 25-75 % водного запаса (гигрофиты вянут при потере 1-2 % воды). Корни склерофитов уходят глубоко в землю (у верблюжьей колючки длина главного корня достигает 15 м) или образуют разветвленную поверхностную корневую систему (степные злаки).

А

д

а

п

т

а

ц

и

и

ж

и

в

о

т

н

ы

х

влажностью. (антилопы, сайгаки, куланы). Некоторые животные в сухой период переходят на ночной образ жизни или впадают в летнюю спячку (суслики, сурки, черепахи).

В водной среде животный мир более богат, чем растительный. Благодаря независимости от солнечного света животные заселили всю толщу воды. По типу морфологических и поведенческих адаптаций их разделяют на следующие экологические группы: *планктон*, *нектон*, *бентос*.

*Планктон* (от греч. *planktós* – парящий, блуждающий) – организмы, обитающие в толще воды и ведущие пассивный образ жизни. Сюда относятся мелкие ракообразные, кишечнорастворимые, личинки некоторых беспозвоночных. Все их адаптации направлены на повышение плавучести тела: увеличение поверхности тела за счет сплющивания и удлинения формы, развития выростов и щетинок; уменьшение плотности тела в связи с редукцией скелета, наличием жировых капель, пузырьков воздуха, слизистых чехлов.

*Нектон* (от греч. *nektós* – плавающий) – организмы, обитающие в толще воды и ведущие активный образ жизни (рыбы, китообразные, ластоногие, головоногие моллюски). Противостоять течению им помогают адаптации к активному плаванию и уменьшению трения тела. Активное плавание достигается за счет хорошо развитой мускулатуры, энергии выбрасываемой струи воды, изгибания тела, наличия плавников, ластов и т. д. Уменьшению трения тела способствуют: обтекаемая форма тела, эластичность кожных покровов, наличие на коже чешуи и слизи.

*Бентос* (от греч. *bénthos* – глубина) – организмы, обитающие на дне водоема или в толще донного грунта. Адаптации бентосных организмов направлены на уменьшение плавучести: утяжеление тела за счет раковин (моллюски), хитинизированной кутикулы (раки, крабы, омары, лангусты); закрепление на донном субстрате с помощью органов фиксации (присоски у пиявок, крючья у личинок ручейника) или уплощенного тела (скаты, камбала), зарывание в грунт (многощетинковые черви).

*Нейстон* – организмы, связанные с поверхностной пленкой воды и обитающие постоянно или временно на этой пленке или до 5 см вглубь от ее поверхности. Их тело не смачивается, поскольку его плотность меньше плотности воды. Особым образом устроенные конечности позволяют передвигаться по поверхности воды, не погружаясь (клопы водомерки). Своеобразной группой водных организмов является также *перифитон* – организмы, образующие на подводных объектах пленку обрастания.

### ***Водно-солевой обмен у живых организмов.***

Вода составляет значительную массу животных и растений: ее содержание в тканях колеблется в пределах 50-80 %, а у некоторых гидробионтов – до 95 %. У высших растений около 5 % воды используется для фотосинтеза, а остальное – на компенсацию испарения. Животные получают влагу в виде питья, а выводят с мочой и экскрементами, а также путем испарения. Водный обмен связан с обменом солей. Набор солей представляет собой необходимое условие нормальных функций организма, т. к. соли входят в состав тканей.

*Водно-солевой обмен у водных организмов.* По типу водно-солевого обмена гидробионты довольно четко делятся на пресноводных и морских. Концентрация солей и их ионный состав в организме близки к таковым в океане, а благодаря проницаемости покровов изменения солености уравниваются осмотическим током воды. Такие организмы называются *пойкилоосмотическими* (цианобактерии, низшие растения, большинство морских беспозвоночных). Животные, способные к регуляции осмотического давления жидкостей тела и поддерживающие его постоянным независимо от окружающей среды, называют *гомойоосмотическими* (осморегуляторы).

*Водно-солевой обмен на суше.* В биотопах с высокой влажностью большинство растений принадлежит к *пойкилогидрическим*. Содержание воды в их тканях очень изменчиво и зависит от влажности среды. Влагообмен идет через поверхность тела. При высыхании растение переходит в состояние оцепенения. К *пойкилогидрическим* относятся низшие (зеленые водоросли) и высшие растения (мхи, папоротники, некоторые виды цветковых), цианобактерии, некоторые грибы и лишайники. Высшие наземные растения в основном принадлежат к *гомойогидрическим*, которые способны поддерживать относительное постоянство обводненности тканей. Регуляция может достигаться либо работой корневой системы, либо ограничением транспирации.

*Влияние воды на организм человека.* Вода обеспечивает действие всех процессов в человеческом организме. Кислород и питательные вещества доставляются ко всем клеткам при помощи жидкости. Вода обеспечивает регуляцию температурного режима, участвует в процессе преобразования пищи в энергию, выводит из организма шлаки, помогает в усваивании питательных веществ, а также выполняет множество других необходимых функций. Без воды ни человек, ни животные, ни растения на планете существовать бы не смогли. Еще в 6 веке до нашей эры древнегреческий математик и философ Фалес Милетский предполагал, что вода является первичной основой жизни на Земле.

*Влажность воздуха имеет разноплановое воздействие на человеческий организм.* Она влияет на дыхание и водно-солевой обмен в организме человека. Для человека относительная влажность воздуха 30-60 % является гигиенической нормой. Воздух с относительной влажностью менее 30 % оценивается как сухой, от 71 до 85 % - как умеренно-влажный и более 85 % – как сильно влажный. Как правило, человек чувствует себя достаточно комфортно при относительной влажности 30-60 %. В атмосферном воздухе всегда содержится водяной пар. С высотой количество водяного пара быстро убывает. Через испарение влажность влияет на интенсивность выделения и скорость удаления пота, участвует в формировании теплооборота. Чем выше влажность воздуха, тем выше увлажнение кожи. При температуре воздуха 10-18 °С, относительной влажности менее 50 % в состоянии покоя потери влаги человека испарением пота составляют в среднем 1 г за 1 минуту. В состоянии физической нагрузки они возрастают в 7-8 раз. Во время приема солнечных ванн, при нахождении в пустыне потери влаги могут достигать 1 литра в час. В насыщенном влагой воздухе в результате конденсации образуются мелкие

капли с благоприятной средой для развития болезнетворных микробов. При условиях непрерывно высокой влажности возникают массовые заболевания. Часто отмечают повышенную чувствительность к изменению влажности воздуха у больных с поражением верхних дыхательных путей. Они жалуются на ощущения царапанья, сухости, присутствия постороннего тела, жжения, сжимания и т.д. Это связано с быстрым уменьшением влажности воздуха. Поэтому больным с заболеваниями верхних дыхательных путей не следует проживать и проводить отдых в географических условиях с резкими колебаниями влажности. Воздействие повышенной влажности может сопровождаться головными болями, сонливостью, снижением настроения, болями в конечностях, сердцебиением. Интенсивность болей находится в прямой зависимости от содержания влаги в воздухе.

#### **1.2.4. Газообмен у живых организмов**

##### ***Особенности наземно-воздушной среды.***

Воздух обладает низкой плотностью, поэтому не может выполнять функцию опоры для организмов (за исключением летающих). Низкая плотность воздуха обуславливает также низкое давление на суше. Низкая плотность воздуха определяет его незначительное сопротивление при передвижении организмов по поверхности почвы и затрудняет их перемещение в вертикальном направлении. Вследствие высокой прозрачности воздух гораздо меньше, чем вода, препятствует проникновению солнечного света.

Газовый состав воздуха постоянен. В качестве примесей в воздухе присутствуют водяные пары и загрязнители. Ветер оказывает механическое воздействие на растения и может быть причиной полегания зерновых, затрудняя их уборку. Он способен вызывать ветровалы (выворачивание деревьев с корнями), буреломы (переломы стволов деревьев), деформировать крону деревьев. Перемещение воздушных масс существенно влияет на распределение осадков и температурный режим в наземно-воздушной среде.

Осадки распределяются неравномерно как по сезонам, так и по географическим зонам, вследствие чего влажность в среде колеблется в широком диапазоне и является основным лимитирующим фактором для живых организмов. Температура в наземно-воздушной среде имеет суточную и сезонную периодичность, к которой организмы адаптировались с момента выхода жизни на сушу. Поэтому она реже, чем влажность, проявляет себя как лимитирующий фактор.

##### ***Механизмы газообмена у растений и животных.***

Энергетические процессы в живом организме основываются на *окислительно-восстановительных реакциях*. Лишь некоторые группы микроорганизмов осуществляют эти процессы без участия кислорода путем гликолиза и брожения. Большинство живых организмов получают энергию благодаря аэробному окислению органических веществ. Это связано с

постоянным притоком кислорода и выносом углекислого газа, образующегося в результате окисления.

*Механизмы газообмена у растений.* У растений дыхание в отличие от фотосинтеза осуществляется всеми органами и тканями. Кислород проникает в них через устьица, растворяется в жидкостях клеточных стенок и отсюда проникает в цитоплазму. Растения не лимитированы по снабжению кислородом, но могут возникать трудности с дыханием корней при сильном переувлажнении почвы. В условиях переувлажнения почв все поры заполняются водой и даже в верхних, обычно лучше аэрированных горизонтах почвы возникает ситуация кислородной недостаточности. Это нарушает рост корней и их функцию; снижается уровень поглощения воды и транспирации. При длительной нехватке кислорода для корневой системы растение погибает. Поэтому обычно корневая система не проникает в горизонты грунтовых вод. Для большинства растений минимальная концентрация кислорода в почвенной влаге составляет около 1-2 мг/л (сосна, ель). Высокой устойчивостью к дефициту кислорода отличаются растения-гидрофиты, корни которых

У животных принцип газообмена лежит в основе формирования специализированных органов дыхания. Для крупных животных это связано с разделением общего процесса дыхания на две составляющие: *внешнее дыхание* (газообмен в дыхательных органах) и *внутреннее* (газообмен в клетках и тканях). При этом формируется транспортная система (гемолимфа, кровь), объединяющая эти два процесса. Объясняется это тем, что скорость диффузии кислорода уменьшается по мере удаления от поверхности газообмена. Кроме того, на этом пути кислород активно поглощается живыми клетками. Поэтому дыхание через поверхность тела без участия транспортной системы эффективно лишь для очень мелких организмов.

Но существуют и более крупные животные, осуществляющие газообмен прямо через поверхность. Они отличаются очень низким уровнем окислительного метаболизма. В большинстве случаев у многоклеточных животных сформировались *специальные органы внешнего дыхания*, связанные транспортной системой со всеми клетками и тканями организма. Принцип таких органов однообразен: создаются открытые участки покровных эпителиальных тканей, густо снабженные системой кровеносных капилляров, через которые осуществляется диффузия кислорода и углекислого газа.

### *Газообмен в водной и воздушной среде.*

Г

а

з

о

о

б

м

е

н

воздухом. В штилевую погоду в стоячих водоемах растворение кислорода замедлено. Растения способствуют увеличению содержания кислорода в воде, а накопление мертвых растительных остатков и ила обедняет воду из-за связывания кислорода при разложении органических веществ. В условиях высокой температуры процессы разложения ускоряются, а растворимость кислорода падает. В зимний период, когда водоемы покрыты льдом, в воде снижается содержание кислорода. В результате могут возникать заморы – массовая гибель рыбы от нехватки кислорода.

*Малое количество кислорода предъявляет определенные требования к строению органов дыхания.* Дыхательная поверхность должна быть достаточно большой и полностью контактировать с окружающей средой. Эти требования реализованы у ряда беспозвоночных, дыхательные органы (жабры) которых контактируют с водой по всей поверхности. Эволюция, направленная на повышение уровня метаболизма, связана с активизацией газообмена. В простом случае это выражается в использовании течений, что ускоряет газообмен. В более сложных вариантах возникают приспособления, прогоняющие воду через дыхательный аппарат (например, коловратки, моллюски).

*У всех рыб* жаберный аппарат устроен так, что вода активно прокачивается через систему многочисленных жаберных лепестков, на поверхности которых происходит газообмен. При быстром плавании для прокачивания воды через жабры используется само движение: рыба плывет с открытым ртом, а вода проталкивается через жабры. Рыбы так могут извлекать до 85 % кислорода, растворенного в воде. На снижение кислорода в воде рыбы реагируют компенсаторным возрастанием частоты дыхательных движений и увеличением объема воды, пропускаемого через жаберный аппарат. Обычно у рыб функционируют около 60 % жаберных лепестков, другие включаются в условиях наступающей гипоксии или при возрастании потребности в кислороде (например, при повышении скорости плавания). Гипервентиляция жабр часто сопровождается замедлением сердечного ритма – *брадикардией*.

*В условиях дефицита кислорода* в водоемах у многих видов рыб сформировались приспособления к использованию атмосферного воздуха как дополнительного источника кислорода. Это характерно для обитателей пресных вод и эстуариев. Донные отложения этих водоемов богаты органическими веществами, а разложение их при высокой температуре усиливает недостаток кислорода. У рыб для воздушного дыхания могут быть использованы жабры и стенки околожаберной полости. У ряда видов наибольшую роль в воздушном дыхании играет слизистая оболочка ротовой и околожаберной полостей. Площадь соприкосновения с воздухом увеличивается образованием складок эпителия и формированием дополнительных полостей. Слизистая этих тканей снабжена густой сетью кровеносных капилляров. У других рыб газообмен с воздухом происходит в различных отделах *пищеварительного тракта*. Многие виды используют для воздушного дыхания *плавательный пузырь*, в стенке которого располагается газообменная система сосудов.

*Газообмен в воздушной среде.* Обитатели наземно-воздушной среды не ограничены в количестве кислорода (в атмосфере его до 21 %). Фактором, лимитирующим газообмен, является сухость воздуха. Процесс обмена газов между кровью и внешней средой у наземных животных в принципе не отличается от водного типа. В кровь поступает кислород, предварительно растворенный в пленке воды на поверхности дыхательного эпителия. Основное условие осуществления газообмена заключается в *поддержании дыхательной поверхности во влажном состоянии*. Поверхность газообмена размещается внутри тела и не граничит непосредственно с воздухом. Слизистые клетки поддерживают в дыхательной полости высокую влажность. У *позвоночных* эта система представлена в виде легких, которые соединены с наружной средой трахеями и бронхами. Их внутренняя поверхность выстлана слизистым эпителием. Органы дыхания *беспозвоночных* весьма разнообразны, например, но газообменная поверхность удалена от соприкосновения с наружной средой.

*Относительная роль кожи и легких в газообмене зависит от экологии вида.* Начиная с рептилий, прослеживается эволюция на повышение эффективности воздушного дыхания. Дыхание определяется объемом грудной клетки. У млекопитающих в механизме дыхания участвует также диафрагма, а внутреннее строение легких усложняется. *Строение дыхательной системы птиц* отличается от млекопитающих: их легкие не эластичны и состоят из системы тонких воздухоносных трубочек (парабронхов), сообщающихся с воздушными мешками.

При некоторых условиях существования *газообмен может быть ограничен недостатком кислорода*. Обитающие в условиях недостатка кислорода животные обладают определенными адаптациями. Для *высокогорных млекопитающих* характерно несколько типов адаптационных реакций газообмена. Под *адаптациями к гипоксии* понимаются реакции, обеспечивающие устойчивость к низкому снабжению тканей кислородом. В ответ на первые признаки гипоксии включается механизм учащения дыхания и сердцебиения. Эти реакции компенсируют недостаточное поступление кислорода в кровь усилением легочной вентиляции и циркуляции крови в организме. Такие реакции возникают в условиях быстрого уменьшения давления кислорода при подъеме в горы.

### ***Газообмен у ныряющих животных.***

Своеобразные условия газообмена складываются у животных, вторично перешедших к водному образу жизни и связанных с регулярным нырянием или погружением головы в воду. У дышащих трахеями *водных насекомых* и *паукообразных* характер дыхания при погружении не меняется: они по-прежнему дышат воздухом, пузырьки которого задерживаются между волосками тела. Водные личинки насекомых (стрекозы) обладают «водными жабрами» – системой замкнутых трахей, контактирующих с водной средой.

Среди *позвоночных* все вторично-водные виды имеют легочный тип дыхания. Внешний газообмен у них проходит в нормальных условиях, но во время пребывания под водой легочное дыхание прекращается, и на тканевом

уровне постепенно развивается состояние гипоксии. Остановка дыхания может быть длительной, но обычно не превышает нескольких минут. Среди *рептилий* максимальная (более 1 часа) длительность погружения отмечена у водных *черепах и змей*. Среди млекопитающих наиболее длительное пребывание под водой характерно для *китообразных и ластоногих* (0,5-2 часа). Дельфины совершают длительные серии коротких ныряний (по 4-5 минут). Околоводные млекопитающие (бобр, ондатра) выдерживают пребывание под водой не более 15 минут, пингвины могут находиться под водой 3-7 минут (императорский пингвин – до 18 мин), остальные водные птицы – до 30-40 сек.

Ныряние вызывает быстрое уменьшение содержания кислорода в крови. Многие ныряющие животные уходят под воду на выдохе, чем снижают плавучесть и затраты энергии на погружение. Для глубоко ныряющих животных это препятствует возникновению кессонной болезни. Большое значение имеет для ныряющих животных запасание кислорода в крови. Эффективность этого варианта определяется общим количеством крови, содержанием гемоглобина, числом эритроцитов. Общий запас кислорода в легких, крови и мышцах не в состоянии обеспечить продолжительную остановку дыхания, свойственную ныряющим животным, если он расходуется с такой же скоростью, как и при свободном дыхании. Поэтому важное значение имеет еще одна адаптация – *замедление сердечного ритма* (брадикардия), возникающее при погружении в воду. Для ныряющих животных характерна пониженная чувствительность головного мозга к накоплению углекислого газа в крови. Важно также приспособление к экономному расходованию кислорода (изменение циркуляции крови).

### **1.2.5. Свет как экологический фактор**

#### ***Значение света как экологического фактора для живых организмов.***

В экологии термин «свет» подразумевает весь диапазон солнечного излучения в пределах длин волн от 0,05 до 3000 нм и более. Перпендикулярная к солнечным лучам поверхность получает энергию порядка 2 кал/см<sup>2</sup>-мин (1390 Дж/м<sup>2</sup>-с). Эта величина называется солнечной постоянной. Она незначительно варьирует по сезонам года из-за удаления Земли от Солнца. При прохождении через атмосферу часть солнечной радиации рассеивается воздухом и водяными парами, часть отражается от облаков. Этот процесс связан и с изменением качественного состава радиации. В частности, коротковолновая часть спектра (длина волны до 300 нм) отражается озоновым экраном. Установлено, что изменение на 10 % концентрации озона вызывает рост ультрафиолетового излучения (УФ) в 1,5-2 раза. Коротковолновая часть УФ (200-280 нм) практически полностью поглощается озоновым экраном. Следующая зона (280-320 нм) - наиболее опасная часть УФ, обладающая канцерогенным действием. До поверхности Земли доходят лишь УФ-лучи с длиной волны от 300 нм. Эта часть спектра обладает большой энергией и оказывает на живые организмы главным образом химическое действие (стимулирует процессы клеточного синтеза). Под действием этих лучей в организме синтезируется витамин D,

регулирующий обмен кальция и фосфора, а отсюда - нормальный рост и развитие скелета. Особенно велико значение этого витамина для растущего молодняка. Поэтому многие норные млекопитающие выносят детенышей на солнечный свет. *Сильное облучение УФ вредно для организма.* Особенно неустойчивы к коротковолновой радиации активно делящиеся клетки. Как адаптация к защите от передозировки УФ у многих видов формируются пигменты, поглощающие эти лучи. Такова природа загара у человека. Избыточное облучение ультрафиолетом может вызвать рак кожи (меланому), стать причиной развития катаракты (помутнения хрусталика).

*Видимый свет* играет роль основного энергетического и сигнального фактора. Видимый свет составляет 40-50 % солнечной энергии, достигающей Земли. Поглощаемый поверхностью Земли, он определяет все разнообразие климатических условий и температуру верхних слоев морских и пресных вод. Различные участки спектра видимого света действуют на организмы по-разному: *красные лучи* оказывают тепловое действие, *синие и фиолетовые* – изменяют скорость и направление некоторых биохимических реакций. *Инфракрасное излучение* является источником тепловой энергии, которая поглощается водой клеток. Некоторые наземные животные, не имеющие постоянной температуры тела (ящерицы, змеи), используют его для повышения температуры тела.

*В процессе фотосинтеза свет выступает как источник энергии,* которая используется пигментной системой (хлорофилл или его аналоги). В итоге происходит расщепление молекулы воды с выделением газообразного кислорода, а энергия, полученная фотохимической системой, утилизируется для преобразования диоксида углерода в углеводы. Использование лучистой энергии хлорофиллом и зрительными пигментами животных сходно. Поэтому в спектре солнечного излучения область фотосинтетически активной радиации (ФАР) совпадает с диапазоном видимой части спектра (400-700 нм). Зеленый лист поглощает около 75 % падающей на него лучистой энергии. Но коэффициент использования ее на фотосинтез невысок: около 10 % при низкой освещенности и лишь 1-2 % – при высокой. Остальная энергия переходит в тепловую, которая тратится на транспирацию и другие процессы.

*Зрительная ориентация* дневных животных используется как источник информации о внешних условиях. Сигналом к перелетам птиц служит изменение длины светового дня. Ночные птицы также ориентируются с участием органов зрения, поскольку полная темнота в сфере обитания животных встречается редко. Ослабление интенсивности света вызывает перестройки органов зрения (совы, козодой, некоторые ночные млекопитающие). Обитание в условиях полной темноты, как правило, связано с редукацией органов зрения. Это, в частности, свойственно видам, обитающим в пещерах, и многим почвенным животным. *В океане* интенсивность освещения падает с глубиной. Глубже всего проникает коротковолновая часть излучения (синие и голубые лучи). На глубине 800-950 м интенсивность света составляет около 1 % освещения на поверхности.

Растения способны *изменять положение* своих органов в пространстве под действием света, т. е. проявлять фототропизм. *Фототропизм* (от греч. *phótós* – свет) – ростовые движения органов растений под влиянием одностороннего освещения. Обычно у стеблей наблюдается положительный (по направлению к свету), а у корней – отрицательный (от света) фототропизмы. Влияние солнечного света на организмы зависит не только от его качества (длины волны или цвета), интенсивности освещения, но и от продолжительности его воздействия – длины светового дня (*фотопериода*).

### ***Фотопериодическая регуляция у живых организмов.***

*Фотопериод* – длина светового дня, зависящая от времени года вследствие движения Земли вокруг Солнца. Длина светового дня в области экватора относительно постоянна в течение всего года (около 12 ч). Но в умеренных и высоких широтах фотопериод значительно изменяется в зависимости от времени года. Изменение фотопериода играет сигнальную роль, как для растений, так и для животных. Оно является для них пусковым механизмом, включающим последовательность физиологических процессов: рост, цветение, плодоношение, листопад, период покоя у растений; линьку, накопление жира, миграцию, размножение у животных.

*Фотопериодизм* (от др.-греч. *φῶς*, род. пад. *φωτός*, «свет» и др.-греч. *περίοδος* – «окружность, обход») – реакция живых организмов (растений и животных) на суточный ритм освещённости, продолжительность светового дня и соотношение между темным и светлым временем суток (фотопериодами). Длина светового дня, обеспечивающая переход организма в очередную фазу развития, называется *критической длиной дня*.

По типу фотопериодической реакции наземные растения разделяют на три основные группы. *Короткодневные растения* цветут ранней весной или осенью и нуждаются для этого в более короткой длине дня (менее 12 ч), чем критическая (земляника, хризантемы, рис, соя, просо). *Длиннодневные растения* цветут летом и нуждаются для этого в большей, чем критическая, длине дня (более 12 ч) (картофель, рожь, ячмень, овес, пшеница, редис). Растения, *нейтральные к длине светового дня*, цветут вне зависимости от длины дня (огурец, подсолнечник, кукуруза, томат, горох, одуванчик).

По *разнообразию адаптаций* и способности произрастать при определенном световом режиме выделяют три экологические группы растений: светолюбивые, тенелюбивые и теневыносливые растения. *Светолюбивые растения* живут на открытых территориях, поглощают много солнечной энергии. Это растения пустынь, полупустынь, степей, высокогорных лугов (мать-и-мачеха, очиток), сорняки и культурные растения открытого грунта (подсолнечник, пшеница). Светолюбивые деревья образуют светлые леса, их кроны не смыкаются (лиственница, сосна, осина, береза и др.). У светолюбивых растений листовые пластинки в основном более толстые и светлые, чем у тенелюбивых и теневыносливых растений. Листовые пластины чаще небольшие, блестящие, иногда покрыты воском или имеют опушение. Листья ориентированы вертикально к горизонту, поэтому получают лишь скользящие

лучи. У них есть приспособления для поворота листовых пластинок ребром к солнцу. Мезофилл (мякоть листа) хорошо развит, особенно столбчатая паренхима, хлоропласты мелкие.

*Тенелюбивые растения* обитают в сильно затененных местах (нижние ярусы тропического леса, горные ущелья, таежные ельники, лесостепные дубравы). К ним относятся мхи, папоротники, кислица, медуница и др. У многих тенелюбивых растений листовые пластинки располагаются почти под прямым углом к источнику света, не затеняя друг друга (листовая мозаика). Листья очень тонкие, имеют хорошо развитую губчатую паренхиму, содержат крупные хлоропласты и много межклетников. Столбчатая паренхима развита слабо и представлена, как правило, одним слоем клеток.

*Теневыносливые растения* предпочитают хорошую освещенность, но могут расти и в тени. Это растения лесных опушек, лугов, степей (лещина, сныть, подорожник, злаковые травы, ежевика). Они образуют живой напочвенный покров и кустарниковый ярус в лесах умеренного пояса.

### ***Биологические ритмы.***

Смена дня и ночи, сезонные изменения требуют от организмов приспособлений к условиям ритмически меняющейся среды. Ритмичность свойственна всем организмам. Длительность ритмов различна: от долей секунды (активность нейрона) до нескольких часов (секреторная деятельность желез). В основе периодических процессов лежит внутренняя (эндогенная) программа, на которую воздействует сложный комплекс внешних условий. В качестве датчиков времени основная роль принадлежит *фотопериодической регуляции* – закономерным изменениям светового режима.

Режим освещения выступает в роли сигнального фактора, который определяет время начала и окончания активности. У *дневных животных* утреннее нарастание освещенности по достижении определенного порога стимулирует начало активной деятельности. У *ночных видов* начало активности коррелирует со снижением освещенности. У *птиц*, зимующих в умеренных широтах, в зимнее время активность начинается раньше, чем летом (относительно времени восхода Солнца). Это связано с компенсацией высоких энергозатрат в условиях короткого зимнего дня.

*Суточные ритмы* свойственны большинству видов растений и животных. Существуют формы с дневной или ночной активностью. Так, суточная активность пойкилотермов определяется температурой среды, амфибий – сочетанием температуры и влажности. Виды грызунов, поедающие грубые, богатые клетчаткой корма, отличаются, как правило, круглосуточной активностью; семяядные виды приурочивают время добывания корма к ночному периоду, когда слабее пресс хищников.

*Периодичность жизнедеятельности на протяжении суток связана с ритмами физиологических процессов. Циркадные (циркадианные) ритмы* (от лат. *circa* «около, кругом» + *dies* «день») – циклические колебания интенсивности различных биологических процессов, связанные со сменой дня и ночи. Циркадный ритм свойствен большому числу физиологических

процессов (обмен веществ, температура тела, метаболизм, деление клеток). Автономность этих ритмов заложена в организме генетически. Носителем отсчета времени служит длинная молекула ДНК (дезоксирибонуклеиновая кислота), нити которой расходятся, и на них строится информационная цепь РНК, которая достигает полной длины одиночной нити ДНК за 24 часа. Этот процесс не зависит от температуры. ДНК, РНК (рибонуклеиновая кислота) и белки содержатся в клетках всех живых организмов и играют важную роль в кодировании, прочтении, регуляции и выражении генов.

*Сезонные биологические ритмы.* У растений они связаны с сезонностью репродукции, сроками образования семян, формированием клубней и других форм запасания питательных веществ перед зимой. Сезонные процессы имеют эндогенный, генетически запрограммированный характер. У большинства животных биологические процессы проявляются сезонно: размножение, линька, спячка, миграции и т. п. Эволюционно сезонность этих явлений возникла как приспособление к циклическим изменениям климатических условий. Она формируется в результате взаимодействия врожденных сезонных циклов с информацией о состоянии внешних условий. Сезонная ритмика может регулироваться и прямым воздействием внешних факторов.

Длина светового дня определяет также *сезонные миграции*. В отличие от передвижений миграции (закономерные направленные перемещения животных в пространстве) характеризуются рядом особенностей. Строгая сезонность, вызывающая необходимость механизмов контроля календарных сроков миграции. Перестройка физиологических систем организма в соответствии с задачами миграции (усиление энергозатрат, ориентация в пространстве). В миграцию вовлекаются только особи определенного физиологического состояния. Массовость (мигрируют не отдельные особи, а целые популяции).

*Сезонные миграции птиц* – одна из форм приспособления к меняющимся погодным и кормовым условиям. У многих видов протяженность миграций невелика, перемещение осуществляется постепенно, без дальних перелетов (осенне-зимние кочевки). Сроки таких перелетов определяются сочетанием изменений длины светового дня с обеспеченностью кормом. При благоприятных условиях погоды и обилии корма осенний отлет может задержаться или даже не состояться совсем. Таких птиц называют *погодными мигрантами*. Для дальних мигрантов характерны четкие сроки миграции, длительные беспосадочные перелеты, хорошо выраженная способность к ориентации и навигации. Таких птиц называют *инстинктивными мигрантами*.

## 1.3. Популяция

### 1.3.1. Популяция как биологическая система

#### *Понятие о популяции.*

Каждый вид заселяет ареал не просто как скопление особей, а в виде относительно обособленных групп разного масштаба. Формирование этих групп является следствием разнообразия абиотических факторов и наличия различных преград (реки, горы) в пределах ареала. Такие группы особей, неравноценные по ряду признаков и населяющие разные по условиям участки ареала, были названы популяциями. *Популяция* (от лат. *populatio* – население) – совокупность организмов одного вида, длительное время обитающих на одной территории (занимающих определенный ареал) и частично или полностью изолированных от особей других таких же групп. Каждая популяция живет в конкретной части ареала и приспособлена к существованию в определенных экологических условиях. Благодаря этому вид может занимать довольно обширный и неоднородный по условиям ареал. Таким образом, вид в пределах ареала существует за счет разнообразия популяций. *Критерии популяции*: единство местообитания или географического расположения (ареал); единство происхождения группы; относительная изолированность этой группы от других аналогичных групп (наличие межпопуляционных барьеров); способность к свободному обмену генетической информацией.

Сложность представления о популяции определяется *двойственностью ее положения в биологических системах*. С одной стороны, популяция включается в *генетико-эволюционный ряд*: организм → популяция → вид → род → семейство → ... → царство. В этом ряду основная функция популяции заключается в обеспечении выживания и воспроизведения вида. Одновременно с этим, популяция вступает в трофические и иные отношения с популяциями других видов. Этот подход отражает *функционально-энергетический ряд*: организм → популяция → биоценоз → биосфера. В этом ряду популяция выступает в качестве функциональной подсистемы биогеоценоза.

#### *Характеристика свойств популяции.*

*Численность* – общее количество особей на участке ареала с однородными экологическими условиями. Численность популяции постоянно изменяется, но ее колебания ограничиваются верхним и нижним пределами. Выход за эти пределы может привести к гибели популяции. *Верхний предел численности* – максимальное количество особей, способных существовать в данной части ареала. Он зависит от количества корма, площади занимаемой территории и силы воздействия экологических факторов. Если численность достигает верхнего предела, то начинается гибель особей из-за нехватки корма. Могут возникать эпидемии из-за повышенной контактности, что в конечном итоге способно привести к гибели всей популяции. Следовательно, если численность близка к верхнему пределу, то часть особей следует изъять из популяции. Это может быть переселение на свободную территорию, использование в

хозяйственных целях, санитарный отстрел или вырубка. *Нижний предел численности* – минимальное количество особей, способных обеспечить длительное существование популяции. Он зависит от биологических свойств организмов и является величиной постоянной для всех популяций в пределах вида. Снижение численности ниже нижнего предела является причиной снижения плодовитости особей. Это неизбежно приводит к вымиранию популяции. Вот почему популяции с очень малой численностью особей длительно существовать не могут. Следовательно, если численность приближается к нижнему пределу, следует осуществлять охрану популяции или вселять новые особи.

*Всем популяциям присущи периодические (сезонные) колебания численности под влиянием биотических и абиотических факторов среды (популяционные волны, или волны жизни).* *Плотность* – количество особей популяции на единицу площади. Этот показатель прямо пропорционален численности. При увеличении численности плотность не повышается или даже снижается лишь в том случае, если возможно расселение особей вследствие расширения ареала. Различают два вида плотности. *Средняя плотность* – количество особей в расчете на единицу площади всей занимаемой территории. *Экологическая (удельная) плотность* – количество особей в расчете на единицу площади территории, пригодной для обитания. Плотность, как и численность, имеет верхний и нижний пределы, поэтому прогноз для популяции можно давать и на основании плотности.

*Рождаемость* – число особей, появившихся в популяции в единицу времени за счет размножения особей. Под рождаемостью понимают любой способ появления новых особей (деление клетки, прорастание семян, вылупливание из яиц, живорождение и т. д.). Для популяции можно рассчитать два показателя рождаемости: абсолютную и удельную. *Абсолютная рождаемость* – отношение числа потомков к периоду времени, за который они появились. *Удельная рождаемость* – число особей, появившихся в единицу времени в расчете на одну особь популяции. Как правило, при повышении рождаемости численность популяции увеличивается. Но иногда в популяции отмечается высокая рождаемость, а численность особей в ней остается прежней или даже снижается. Это может быть связано с высокой смертностью особей или с какими-либо другими причинами (например, с расселением особей на новые территории).

*Смертность* – количество особей, погибших за единицу времени. Она является одной из характеристик демографических процессов. Смертность по характеру влияния на численность природных популяций является свойством противоположным рождаемости. Но охарактеризовать ее можно аналогичными по способу расчета рождаемости показателями: *абсолютной смертностью и удельной смертностью*. Увеличение смертности, как правило, приводит к снижению численности популяции и свидетельствует о неблагоприятном воздействии факторов окружающей среды.

Соотношение между рождаемостью и смертностью определяет *скорость роста численности популяции*. Если показатель рождаемости ниже показателя

смертности, то численность популяции будет снижаться (*отрицательный рост численности*), и она нуждается в охране. Наоборот, если смертность ниже рождаемости, то численность популяции возрастает (*положительный рост численности*), и из нее возможно изъятие особей. В случае равенства рождаемости и смертности численность популяции поддерживается на постоянном уровне, и популяция является *стабильной*.

### ***Популяционная структура вида.***

*Вид* – исторически сложившаяся совокупность популяций, особи которых сходны по морфологическим, физиологическим и биохимическим признакам, свободно скрещиваются и дают плодовитое потомство, приспособлены к определенным условиям среды и занимают в природе общую территорию – *ареал*. Разные виды сравнивают между собой по ряду характерных признаков – критериев. *Критерии вида* – совокупность характерных однотипных признаков, по которым особи одного вида схожи, а особи разных видов различаются между собой. В современной биологии выделяют следующие основные критерии вида: *морфологический, физиологический, биохимический, генетический, экологический, географический*.

*Морфологический критерий является относительным*. В пределах вида особи могут заметно различаться по строению в зависимости от пола (половой диморфизм), стадии развития, способа размножения, условий среды обитания, принадлежности к сортам или породам. *Половой диморфизм*. Например, у кряквы самец ярко окрашен, а самка тёмно-бурая, у благородного оленя самцы имеют рога, а у самок их нет. Некоторые виды настолько схожи по морфологическим признакам, что их называют *видами-двойниками*. Например, некоторые виды малярийных комаров, дрозофил внешне не различаются, но не скрещиваются между собой.

*Физиологический критерий* – совокупность характерных особенностей процессов жизнедеятельности (размножения, пищеварения, выделения и др.). Особи разных видов не могут скрещиваться из-за сдвига сроков размножения, несовместимости половых клеток, несоответствия поведения в брачный период. Этот критерий относительный, поскольку и особи одного вида иногда не могут скрещиваться. Например, растения одуванчика на южном склоне холма зацветают раньше и могут отцвести к моменту цветения растений на северном склоне. Значит, опыление между ними будет невозможно, хотя они и относятся к одному виду. И наоборот, известны такие виды, представители которых могут скрещиваться между собой. *Из этого следует, что для определения видовой принадлежности особей недостаточно сравнивать их только по физиологическому критерию*.

*Биохимический критерий* отражает характерный химический состав тела и обмен веществ. Это самый ненадежный критерий. Нет веществ или биохимических реакций, характерных только для определенного вида. Особи одного вида могут значительно различаться по этим показателям. Тогда как у особей разных видов синтез белков и нуклеиновых кислот происходит одинаково.

*Генетический критерий* характеризуется определенным набором хромосом, сходных по размерам, форме и составу. Это *самый надежный критерий*, так как он является фактором репродуктивной изоляции, поддерживающей генетическую целостность вида. Однако и этот *критерий не является абсолютным*. У особей одного вида число, размеры, форма и состав хромосом могут различаться в результате геномных, хромосомных и генных мутаций. В то же время при скрещивании некоторых видов иногда появляются жизнеспособные плодовые межвидовые гибриды.

*Экологический критерий* – это совокупность характерных факторов среды, необходимых для существования вида. Каждый вид может обитать в той среде, где климатические условия, особенности почвы, характер рельефа и источники пищи соответствуют его пределам толерантности. Но в этих же условиях среды могут обитать и организмы других видов.

*Географический критерий* представляет собой определенную часть земной поверхности (ареал) в природе, где обитают особи данного вида. Этот критерий указывает на приуроченность вида к определенному местообитанию. Например, лиственница сибирская распространена в Сибири (Зауралье), а лиственница даурская – в Приморском крае (Дальний Восток), морошка – в тундре, а черника – в умеренной зоне. Но есть виды, не имеющие четких границ расселения, а обитающие практически повсеместно (лишайники, бактерии). У некоторых видов вообще нет собственного ареала. Они сопровождают человека и называются синантропными видами (комнатная муха, постельный клоп, домовая мышь, серая крыса). У разных видов могут быть совпадающие местообитания. Значит, и этот критерий имеет относительный характер и не может использоваться в качестве единственного для определения видовой принадлежности особей. *Ареал* (от лат. *area* – площадь, пространство) – часть земной поверхности, в пределах которой распространены и проходят полный цикл своего развития особи данного вида. Ареал может быть сплошным или прерывистым, обширным или ограниченным. Виды, имеющие обширный ареал в пределах разных континентов, называются *видами-космополитами* (некоторые виды протистов, бактерий, грибов, лишайников). Когда ареал распространения очень узкий и находится в пределах небольшого региона, то населяющий его вид называется *эндемиком* (от греч. *éndemos* – местный).

Таким образом, *ни один из описанных критериев не является абсолютным и универсальным*, поэтому при определении принадлежности особи к определенному виду *следует учитывать все его критерии*.

### **1.3.2. Пространственная структура популяций**

#### ***Типы пространственного распределения особей в популяции.***

*Структура популяции* – соотношение особей по какому-либо признаку или по характеру их распределения в среде обитания. Различают пространственную, половую, возрастную и этологическую (поведенческую) структуры популяции.

*Пространственная структура* – характер распределения особей популяции на занимаемой территории. В природе популяциям свойственны три типа пространственного распределения особей: *случайное, равномерное, групповое*. Они формируются в зависимости от степени неоднородности среды обитания, биологических особенностей вида и поведения особей.

*Случайное распределение* особей в популяции. При нем особи распределены в пространстве неравномерно, случайно. Он широко представлен среди растений и многих таксонов животных. Расстояния между особями неодинаковы, что определяется взаимоотношениями в популяции и степенью неоднородности среды. В частности, такое распределение характерно для животных, у которых социальная связность в пространстве выражена слабо.

*Равномерный тип распределения* характеризуется равным удалением каждой особи от соседних. Расстояние между особями соответствует порогу, за которым начинается взаимное угнетение. Этот тип распределения соответствует задаче полного использования ресурсов при минимальной конкуренции, но встречается очень редко. Неоднородность среды обитания определяет сложность его реализации. Близкий к этому характер распределения свойствен, *например*, одновидовым зарослям растений. Поддерживают между собой определенную дистанцию некоторые виды хищных рыб, птиц и млекопитающих,

*Групповое распределение* наиболее распространено в природе. Неоднородность среды, ограниченность мест обитания, биологические особенности вида, способы размножения могут приводить к объединению особей в группы. Групповое распределение у растений обусловлено их способами размножения и распространения семян и плодов.

*Для животных* ведущее значение в определении характера пространственной структуры популяции имеет степень привязанности к территории. Это выражается либо *оседлым*, либо *номадным* (кочевым) образом жизни. Видам, для которых характерен *оседлый образ жизни*, свойствен интенсивный тип использования территории, при котором отдельные особи или их группировки в течение длительного времени эксплуатируют ресурсы на ограниченном пространстве. Для *номадного образа жизни* характерен экстенсивный тип использования территории, при котором кормовые ресурсы используются обычно группами особей, перемещающихся в пределах ареала.

Для *оседлых животных* принцип пространственной организации популяций заключается в формировании системы индивидуальных участков обитания, используемых в течение длительного времени. Это ведет к рациональному использованию ресурсов ареала на уровне популяции. На каждом участке обитания обеспечены все условия для жизни. В результате уровень конкуренции за корм, убежища и др. ресурсы сведен к минимуму. Привязанность к территории дает особям ряд преимуществ. Они перемещаются в системе знакомых ориентиров. Длительное обитание на одном участке сопровождается «благоустройством» территории (убежища, система переходов, запасы корма, тропы и т. п.). Размеры участка определяются комплексом

внешних (особенности среды) и внутренних (биология вида) факторов. Основное условие – обеспеченность кормом.

Для позвоночных животных большое значение имеет количество и распределение убежищ или пригодных для сооружения гнезда (норы) мест и т. п. Поэтому для норных животных важным является микрорельеф, а для некоторых птиц плотность заселения ими местности определяет количество дупел. Важна также степень неоднородности участка: чем сложнее местность, тем больше возможность осуществления всех форм деятельности на относительно малом пространстве. Существенным фактором оказывается *тип коммуникации*: дистанция, в пределах которой воспринимается информация от соседей, устойчивость сигналов и др. В процессе освоения участка формируется стереотип поведения особи в пределах знакомой территории. Он направлен на предотвращение вторжения других особей своего вида (активная защита и маркировка границ участка).

Для *номадных* (кочующих) животных характерен групповой подвижный образ жизни, который снижает нагрузку на кормовые ресурсы. В группе животные легче обеспечивают себя кормом и затрачивают меньше энергии на добывание пищи. Групповое кормление позволяет хищным животным охотиться на крупную жертву (хищные рыбы, волки и др.), а жертвам эффективно защищаться от хищников (система взаимного оповещения). Оповещение об опасности может быть активным (сигналы тревоги) и пассивным («вещество испуга», кровь, тканевая жидкость и др.). Сигнализация об опасности обеспечивает избегание нападения (убегание, рассредоточение, затаивание и др.). Жизнь в группе сопряжена и с другими преимуществами: экономный тип энергозатрат («эффект группы»), передача опыта молодым через подражание и др. У животных, ведущих групповой образ жизни, образуются колонии, стаи и стада. У стадных видов формируется общий групповой участок обитания. Все перемещения стада укладываются в пределы этого участка. Стадо подчиняется четкой регуляции взаимного расположения в пространстве.

### ***Интеграция особей в популяции.***

В основе механизмов интеграции лежат *два процесса*: информация о местонахождении отдельных особей и стереотип поведения, который стимулирует животное к поиску контактов с себе подобными. В информацию о присутствии особей своего вида входят личные сигналы, а также следы, тропы, норы, гнезда, фекалии и др. формы информации. У некоторых рыб это могут быть электрические разряды, у водных беспозвоночных – механические колебания воды. Вся сумма информации в виде различных сигналов, изменений растительности, почв и рельефа, а также других следов жизнедеятельности образует биологическое сигнальное поле.

У *оседлых животных* участки обитания соседних особей перекрываются. Такой тип структуры свойствен многим млекопитающим и птицам. При этом активная охрана участка проявляется лишь в отношении территории, не соприкасающейся с соседями. Зона совместного обитания маркируется всеми и

защищается только от чужаков. Области перекрывания участков являются зонами контактов. Общая пространственная структура популяции проявляется в виде системы отдельных внутривидовых группировок. *Внутривидовые группировки* – это совокупность особей и семей, живущих в ближайшем соседстве и непосредственно связанных друг с другом формами сигнализации. Они представляют элементарную единицу популяции, на их основе проявляется адаптивный ответ на изменения условий обитания. Существование этих группировок обеспечивает устойчивость популяции в целом. Интеграция особей вызывает их сближение в пространстве (перекрывание участков, контакты), что ведет к повышению конкуренции. У высших животных отношения особей связаны с социальным поведением.

Характер взаимоотношений особей можно определить как систему типа *доминирование – подчинение*. Оно основывается на неравнозначности особей, входящих в состав группировки. Такая система называется *иерархической*. В составе группы выделяются *доминанты, субдоминанты и подчиненные* особи. *Отношения доминирования – подчинения* чаще всего наблюдаются среди самцов. Основное биологическое значение таких взаимоотношений заключается в том, что повышается организованность и управляемость группы. Иерархия особей в группах определяет различия в их поведении. Доминанты обладают преимуществами и свободно проявляют различные формы деятельности. Подчиненные животные ограничены в своих действиях поведением более высокоранговых. Таким образом, система взаимоотношений особей может быть следующей. *Система неперекрывающихся участков обитания* – четко выраженная охрана и маркировка территории, однородность особей, отсутствие доминантно-подчиненных отношений между ними (коралловые рыбы, куньи, неколонизальные птицы в период гнездования и др.). *Группа перекрывающихся участков обитания* – разделение территории на охраняемую и зону контактов, отношения доминирования-подчинения, иерархия (ящерицы, мелкие грызуны и др.). *Общая групповая территория* – жесткая иерархия с деспотическим доминированием (домовая мышь в постройках).

Групповое распределение в пространстве свойственно и структуре *ценопопуляций растений*. Растения в ценопопуляции чаще всего распределены крайне неравномерно, образуя более или менее изолированные группы, скопления, так называемые *микроценопопуляции, субпопуляции* или *ценопопуляционные локусы*. Эти скопления отличаются друг от друга числом особей, плотностью, возрастной структурой, протяженностью. Структура популяций растений трехмерна и может рассматриваться в горизонтальном и вертикальном направлениях. В качестве *горизонтального распределения* растений выступают локусы (субпопуляции). Это могут быть любые участки ценопопуляции, отличающиеся по плотности особей, возрастной структуре и фитомассе. *Вертикальное распределение* представлено ярусностью. Оно связано с размерами и возрастом растений. Лесные фитоценозы обладают наиболее выраженной ярусностью. Для нормального существования популяции

необходим полный набор локусов. Их неоднородность и неравномерность развития представляют собой основу устойчивости ценопопуляций.

### ***Этологическая структура популяций животных.***

*Одиночный образ жизни*, при котором особи популяции независимы и обособлены друг от друга, характерен для многих видов, но лишь на определенных стадиях жизненного цикла. Полностью одиночное существование организмов в природе не встречается, так как при этом было бы невозможным осуществление их основной жизненной функции – размножения. *Усложнение отношений внутри популяции осуществляется по двум направлениям*: усиление связи между половыми партнерами; возникновение контактов между родительским и дочерним поколениями. На этой основе в популяциях формируются *семьи*, которые очень разнообразны по составу и длительности существования.

*Семейный образ жизни*. Усиливаются связи между родителями и их потомством. Простейший вид такой связи – забота одного из родителей об отложенных яйцах: охрана кладки, инкубация, и т. п. *Различают семьи отцовского, материнского и смешанного типа*, в зависимости от того, кто из родителей берет на себя уход за потомством. В семьях с устойчивым образованием пар в охране и выкармливании молодняка принимают обычно участие самец и самка. При семейном образе жизни *территориальное поведение* животных выражено наиболее ярко: различные сигналы, маркировка, ритуальные формы угрозы и прямая агрессия обеспечивают владение участком, достаточным для выкармливания потомства.

*Более крупные объединения животных – стаи, стада и колонии. Стаи* – временные объединения животных, которые проявляют биологически полезную организованность действий. Стаи облегчают выполнение каких-либо функций в жизни вида: защиты от врагов, добычи пищи, миграции. Наиболее широко стайность распространена среди птиц и рыб, у млекопитающих характерна для многих собачьих. *По способам координации действий стаи делятся на две категории: эквипотенциальные, без выраженного доминирования отдельных членов (рыбы, мелкие птицы, перелетная саранча); стаи с лидерами*, в которых животные ориентируются на поведение одной или нескольких, обычно наиболее опытных, особей.

*Стада* – более длительные и постоянные объединения животных по сравнению со стаями. В стадных группах, как правило, осуществляются все основные функции жизни вида: добывание корма, защита от хищников, миграции, размножение, воспитание молодняка и т. п. Основу группового поведения животных в стадах составляют взаимоотношения доминирования-подчинения, основанные на индивидуальных различиях между особями. Стадо действует как единое целое, подражая лидеру. Деятельность лидера не направлена непосредственно на подчинение других особей. Лидером становится более опытный член стада.

При иерархической организации популяций в стаях и стадах особям свойствен закономерный порядок перемещения, расположения на отдых,

определенная организация при защите от врагов. При *линейной иерархии* особи данного ранга доминируют над последующими и подчиняются предыдущим (стая ездовых собак). У некоторых обезьян такие ряды возникают отдельно среди самок и самцов (*параллельная иерархия*). Самой жесткой иерархической системой является *деспотия* – доминирование одной особи (вожака) над всеми другими (волчья стая).

*Колонии.* Это групповые поселения оседлых животных. Они могут существовать длительно или возникать лишь на период размножения, как, например, у многих птиц – грачей, чаек, гагар и т. п. Чайки, кайры, некоторые гуси, ласточки и другие птицы обычно с шумом набрасываются на хищника, угрожающего птенцам или кладкам. Тревога, поднятая любой заметившей опасность птицей, мобилизует остальных. Сообща птицам удается изгонять даже крупных хищников, с которыми они не справились бы поодиночке, – песцов, ястребов, сов и др.

*Колонии млекопитающих* чаще возникают не как территориальные объединения разных семей, а на основе разрастания семейных групп, с сохранением связей между отпочковывающимися семьями. Среди млекопитающих колониальны сурки. *Наиболее сложные колонии у общественных насекомых* – термитов, муравьев, пчел. Они возникают на основе сильно разрастающейся семьи. В таких колониях-семьях насекомые выполняют сообща большинство основных функций: размножения, защиты, обеспечения кормом себя и потомства, строительства и т. п. При этом существует обязательное разделение труда и специализация отдельных особей или возрастных групп на выполнении определенных операций. Члены колонии действуют на основе постоянного обмена информацией друг с другом.

*Эффект группы.* Жизнь в группе через нервную и гормональную системы отражается на протекании многих физиологических процессов в организме животного. У изолированных особей заметно меняется уровень метаболизма, быстрее тратятся резервные вещества, не проявляется целый ряд инстинктов и ухудшается общая жизнеспособность. Оптимизация физиологических процессов, ведущая к повышению жизнеспособности при совместном существовании, получила название эффекта группы. Он проявляется как психофизиологическая реакция отдельной особи на присутствие других особей своего вида.

### 1.3.3. Гомеостаз популяций

#### *Понятие о гомеостазе популяции.*

*Гомеостаз* (др.-греч. ὁμοιόστασις от ὁμοίος «одинаковый, подобный» + στάσις «стояние; неподвижность») – саморегуляция, способность открытой системы сохранять постоянство своего внутреннего состояния посредством скоординированных реакций, направленных на поддержание динамического равновесия. Стремление системы воспроизводить себя, восстанавливать утраченное равновесие, преодолевать сопротивление внешней среды. *Гомеостаз популяции* – способность популяции поддерживать определённую

численность своих особей длительное время. *Гомеостатические механизмы* функционируют в определенных пределах, обозначенных внешними или внутренними лимитирующими факторами.

Все биологические системы характеризуются способностью к гомеостазу, т.е. к саморегуляции. С помощью саморегуляции поддерживается в целом существование каждой системы – ее состав и структура, внутренние связи и преобразования в пространстве и во времени. *Саморегуляция* – необходимое приспособление организмов для поддержания жизни в постоянно меняющихся условиях. Саморегулирование популяции осуществляется действующими в природе двумя взаимно уравновешивающимися силами. С одной стороны, это *биотический потенциал*, составляющий совокупность всех факторов, способствующих увеличению численности популяций, с другой – это *сопротивление среды* – совокупность факторов, снижающих численность популяции.

#### ***Механизмы популяционного гомеостаза.***

*Механизмы популяционного гомеостаза включают: поддержание определенной пространственной структуры* (благодаря особенностям социальных отношений и характеру использования территории), *поддержание генетической структуры* (через богатство генома популяции и геномов каждой особи), *регуляцию плотности населения* (без которой невозможно оптимальное использование территории).

*Факторы, регулирующие плотность населения популяции*, делятся на зависимые и независимые. *Зависимые* изменяются с изменением плотности, а *независимые* остаются постоянными при ее изменении. Первые – это *биотические* факторы, вторые – *абиотические*. Влияние независимых от плотности факторов хорошо прослеживаются на сезонных колебаниях численности планктонных водорослей. В естественных условиях численность и плотность популяции определяются регулирующими (управляющими) экологическими факторами.

Размеры популяции не безграничны; каждая популяция имеет верхний и нижний пределы. В основе способностей популяции к гомеостазу находятся изменения физиологии особей и их поведения, темпов индивидуального развития, выраженности конкурентных отношений и других характеристик, проявляющихся в ответ на возрастание или снижение численности особей относительно нормы. *Механизмы популяционного гомеостаза* зависят от экологических особенностей вида, степени воздействия хищников и паразитов. У одних видов они могут проявляться в жёсткой форме, приводя к относительно быстрой гибели избыточного количества особей, а у других – в смягчённой, например в виде постепенного снижения плодовитости. К жёстким формам внутривидовой конкуренции можно отнести явление самоизреживания у растений. При значительной плотности молодых особей часть из них неминуемо гибнет в результате угнетения физиологически более выносливыми соседями. В животном мире жёсткие формы авторегуляции плотности популяций проявляются обычно в тех случаях, когда запасы пищи и воды или других ресурсов становятся весьма ограниченными, и особи не могут найти их

на соседних территориях. *Миграции – важнейший механизм популяционного гомеостаза.* Переход особей из одной популяции в другую – явление довольно частое и полезное, так как способствует уменьшению вероятности близкородственного скрещивания. Но в периоды высокой плотности к иммигрантам относятся везде достаточно враждебно. Особый интерес представляют массовые исходы особей из популяции при явной перенаселенности – *нашествия*. В популяциях, склонных к J-образной динамике, нашествие является, по-видимому, одним из вполне обычных механизмов «деления» популяции, подкрепленных рядом инстинктов и адаптаций.

*J-образная модель роста популяции.* Рост происходит сначала медленно, а затем стремительно увеличивается по экспоненциальному закону, т. е. кривая роста популяции принимает J-образный вид. Такая модель основывается на допущении, что рост популяции не зависит от ее плотности. Считают, что почти любой вид теоретически способен увеличить свою численность до заселения всей Земли при достатке пищи, воды, пространства, постоянстве условий среды и отсутствии хищников. Сам процесс массовой миграции очень болезненный, так как гибнет огромное количество особей, у которых до некоторой степени притупляется инстинкт самосохранения. Все поведение насекомых направлено на выживание популяции, а не на личную безопасность. У насекомых со сложной социальной организацией, типа пчел, муравьев и пр., подобные процессы очень точно отлажены.

К числу механизмов, способных регулировать плотность популяции, принадлежит *явление стресса*. Применительно к человеку и млекопитающим последствия стресса были впервые описаны в 1936 г. физиологом *Г. Селье*. Он установил, что в ответ на негативное воздействие фактора среды в организме возникают реакции двух типов: *специфические*, зависящие от природы воздействующего фактора (например, усиление теплопродукции в организме при действии низких температур), и *неспецифические*, затрагивающие целый комплекс систем - нервную, сердечно-сосудистую и гормональную. Это может привести к увеличению или к снижению плодовитости самок, к более или менее выраженной заботе о потомстве, а также к изменениям в половой структуре популяции, связанным с большей рождаемостью самок на фоне резкого снижения численности популяции.

В условиях *человеческого общества*, практически не имеющего врагов в природе, именно стрессовые механизмы начинают играть главную роль в ответ на значительный рост населения Земли. Давно подмечено, что каждый человек обладает набором своего рода «личных зон» разного радиуса, т. е. определенных объемов пространства, где присутствие кого-либо вызывает неприятные ощущения. Поэтому, например, люди, живущие в густонаселенных районах, в тесных комнатах многоквартирных домов, не имеющие возможности остаться наедине с собой в достаточно просторной зоне, оказываются гораздо более нервными, чем, скажем, жители деревень, где такой проблемы не существует. По мнению большинства специалистов, основное количество болезней (до 80 %) сейчас либо напрямую вызвано

нервными перегрузками, либо косвенно связано с нервным истощением организма. Возможно, механизм корректировки численности людей существенно активизировался в последние десятилетия. Ведь несмотря на все успехи медицины XX в. по праву можно назвать веком болезней.

*Важной группой факторов, способных эффективно регулировать плотность и общую численность популяций животных и растений, являются различные формы межвидовых взаимоотношений, такие как хищничество, паразитизм и межвидовая конкуренция за сходные ресурсы.* Наиболее изученным межвидовым регулирующим механизмом является *воздействие хищника*. Обычно число особей, которых может уничтожить один хищник, на начальной стадии своего воздействия увеличивается почти прямо пропорционально численности потребляемого вида. Это так называемая *функциональная реакция хищника на жертвы*. Однако она имеет предел. После полного насыщения в случае, если хищников мало, у них обычно снижается интерес к жертвам, даже если они легко доступны. Но если численность хищников значительно возросла по причине увеличения воспроизводства на фоне хорошей кормовой базы, то они снова становятся способны эффективно влиять на численность популяции жертвы. Данное явление получило название *количественной реакции хищников на рост численности жертв*.

Еще одним мощным фактором, способным сдерживать быстрый рост численности популяции и таким образом обеспечить устойчивость всего биоценоза, является *паразитизм*. Паразиты, как правило, редко вызывают массовую гибель поражённых особей, тем не менее, угнетая организм хозяина, они приводят к падению его плодовитости и снижению численности последующих его поколений.

Действенным средством, которое способно быстро снизить избыточную плотность особей в непрерывно растущей популяции, является *распространение инфекционных заболеваний* бактериальной или вирусной природы. Следует заметить, что условия для быстрого развития эпидемий и массового паразитизма создаются только тогда, когда плотность скопления особей достигнет весьма высоких величин, что будет способствовать скорейшей передачи от особи к особи возбудителей заболеваний. Тем не менее даже в случае распространения особо опасных болезней, смертность в популяциях практически никогда не достигает 100 %, так как у некоторого количества особей обнаруживается врождённый иммунитет, что обеспечивает последующее восстановление популяции.

К межвидовым механизмам регулировки численности популяций можно отнести *межвидовую конкуренцию*, которая ограничивает экологическую нишу данной популяции, приводя иногда даже к гибели части особей. При этом внутри популяции происходит достаточно жесткий отбор претендентов на продолжение рода, тем самым развивается внутривидовая конкуренция. Конкретные механизмы этого отбора также могут быть различными. Например, на стадии всходов молодых растений преимущество имеет тот, кто смог быстрее всех выйти в более высокий ярус, остальные погибают в затенении. Однако и они играют свою положительную роль в жизни популяции, отдавая,

по-видимому, свои биогенные вещества более перспективным конкурентам через систему сросшихся друг с другом корней. По мере возрастания биомассы деревьев более крупные и старые деревья могут становиться более восприимчивыми к насекомым-вредителям и часто гибнут, освобождая место более молодым. Иногда во время нашествий насекомых-вредителей такое массовое омоложение леса по масштабам может сравниться даже с действием бурь или пожаров. У *высших животных* такая внутривидовая конкурентная борьба может проходить в более мягких формах, например, путем исключения ослабленных особей из процесса размножения без их непосредственной гибели.

Таким образом *саморегуляция плотности популяции* обеспечивается механизмами торможения роста численности. *Таких основных механизмов три.* При возрастании плотности и повышенной частоте контактов между особями возникает стрессовое состояние, уменьшающее рождаемость и повышающее смертность. При возрастании плотности усиливается миграция в новые местообитания, краевые зоны, где условия менее благоприятны и повышается смертность. При возрастании плотности изменяется генетический состав популяции.

#### ***Типы регуляции численности особей популяции.***

*Классификация типов регуляции численности популяции.* Химическая регуляция представлена у низших таксонов животных, не обладающих иными формами коммуникации, а также у водных животных. *Регуляция через поведение* свойственна высшим животным. У некоторых животных рост плотности приводит к каннибализму. *Регуляция через структуру.* Вследствие разнокачественности часть особей испытывает стресс. С ростом плотности уровень стресса в популяции увеличивается. В некоторых случаях агрессия может выступать как фактор ограничения численности. Агрессия свойственна взрослым и доминантам, а стресс выражен у низкоранговых особей. *Выселение особей из состава размножающихся группировок.* В этом заключается первая реакция популяции на возрастание плотности; при этом расширяется ареал, и оптимальная плотность поддерживается без снижения численности. Гибель животных среди расселяющейся части выше, чем среди остающейся (потери у полевок при расселении составляют 40-70%). У стадных животных происходит разделение стад и их откочевка.

#### **1.3.4. Динамика популяций**

##### ***Возрастная и половая структура популяции.***

Численность популяции и ее плотность меняется во времени. В популяциях постоянно происходят приток особей извне и выселение части их за пределы популяции. Это определяет динамический характер популяции как системы, составленной множеством отдельных организмов. Они отличаются друг от друга по возрасту, полу, генетическим особенностям и роли в функциональной структуре популяции. Численное соотношение различных

категорий организмов в составе популяции называется *демографической структурой*.

*Возрастная структура популяции* – это соотношение в ней разных возрастных групп (когорт) особей, различающихся по способности к воспроизводству. Возрастные различия в популяции обеспечивают особям неодинаковую сопротивляемость среде. Возрастная структура популяции имеет приспособительный характер. Она формируется на основе биологических свойств вида, но всегда отражает и силу воздействия факторов окружающей среды. Темпы роста популяции определяются долей особей, находящихся в репродуктивном возрасте. Процент неполовозрелых организмов отражает потенциальные возможности воспроизводства в будущем.

В природных популяциях животных выделяют три возрастные группы. *Предрепродуктивные особи* – молодые особи, не достигшие полового созревания и еще не способные давать потомство. *Репродуктивные особи* – половозрелые размножающиеся особи. *Пострепродуктивные особи* – старые особи, утратившие функцию размножения и уже не дающие потомства. Продолжительность существования каждой возрастной группы по отношению к продолжительности жизни поколения сильно варьирует у разных организмов.

Количественное соотношение групп разных возрастов в популяциях животных выражают с помощью *возрастных пирамид*. Оно служит показателем изменения численности популяции. Популяция с большой долей предрепродуктивных особей является развивающейся, или растущей. При равномерном распределении особей по возрастным группам популяция находится в стабильном состоянии. При малой доле предрепродуктивных особей численность популяции будет снижаться. Такая популяция называется *вымирающей* или *стареющей*. Она нуждается в охране или дополнительном вселении особей.

Возрастная структура меняется во времени, что связано с различной смертностью в разных возрастных группах. У видов, для которых роль внешних факторов невелика (погода, хищники и т. п.), кривая выживания отличается слабым понижением до возраста естественной смерти, а затем резко падает. В природе такой тип редок (поденки, некоторые крупные позвоночные, человек). При равномерном распределении смертности по возрастам характер выживания представляется в виде диагональной прямой линии. Этот тип выживания свойствен в первую очередь видам, развитие которых идет без метаморфоза при достаточной самостоятельности потомства (II тип). Для многих видов характерна повышенная смертность на начальных стадиях онтогенеза. У таких видов кривая выживания резко падает в начале развития, а затем отмечается низкая смертность животных, переживших критический возраст (III тип).

*Половая структура популяции* – это соотношение в ней особей разного пола. Половая структура популяции не только определяет размножение, но и способствует обогащению генофонда. Генетический обмен между особями свойствен практически всем таксонам. Но существуют организмы, размножающиеся вегетативно, партеногенетически или миозом. Поэтому

четкая половая структура выражена у высших групп животных. Половая структура динамична и связана с возрастной, поскольку соотношение самцов и самок изменяется в разных возрастных группах. В связи с этим различают первичное, вторичное и третичное соотношение полов.

*Первичное соотношение полов* определяется генетически (основано на разнокачественности хромосом). В процессе оплодотворения возможны различные комбинации хромосом, что влияет на пол потомства. В природных популяциях при половом размножении в момент оплодотворения соотношение зигот по половой принадлежности, как правило, близко к 1:1. В эмбриональный период на генетическую обусловленность пола накладывается влияние факторов окружающей среды, что приводит к формированию *вторичного соотношения полов*. К моменту полового созревания соотношение полов изменяется и формируется *третичное соотношение полов*. Оно зависит от устойчивости особей разного пола к факторам среды, что связано с физиологическими, экологическими, поведенческими и другими особенностями самцов и самок.

*Способность популяции к воспроизведению означает потенциальную возможность постоянного увеличения ее численности.* Этот рост можно представить, как постоянно идущий процесс, масштабы которого зависят от скорости размножения. Последняя определяется как удельный прирост численности за единицу времени. Показатель мгновенной удельной скорости роста популяции определяют, как *репродуктивный (биотический) потенциал популяции*. *Реальный рост* популяции некоторое время идет медленно, затем возрастает и выходит на плато, определяемое емкостью угодий. Это отражает баланс процесса размножения с пищевыми и другими ресурсами.

### ***Типы динамики численности популяций.***

Причины и типы динамики численности популяции. Вся совокупность факторов среды в природе постоянно изменяется и вызывает колебания численности популяций. Диапазон колебаний численности зависит от степени изменчивости абиотических, антропогенных и биотических факторов среды, а также от биологических особенностей вида. Изменение численности популяции во времени называется *динамикой численности*. Различают два типа динамики численности популяций: *периодические* и *непериодические* колебания численности.

*Периодические колебания численности* (популяционные волны, или волны жизни) происходят преимущественно под влиянием закономерно изменяющихся факторов среды (особенно кормовых ресурсов) при смене сезонов. Они могут быть связаны и с особенностями жизненного цикла (размножение в определенное время года) особей самой популяции. У некоторых видов млекопитающих, птиц, рыб, насекомых, растений наблюдается четко выраженное регулярное чередование всплесков и спадов численности. У многих видов процесс размножения и степень обеспеченности кормом не приурочены к определенному времени года, а зависят от динамики

экологических факторов в течение сезона или на протяжении года. В популяциях таких видов наблюдаются *непериодические колебания численности*.

*Экологические механизмы динамики численности* заключаются в изменении соотношения рождаемости и смертности в популяции. Соотношение уровня плодовитости и средней нормы гибели – закономерность, установленная для различных таксонов живых организмов. У видов, выкармливающих свое потомство, плодовитость зависит от обеспеченности кормом. Проявление заботы о потомстве четко коррелирует со снижением плодовитости. У таких видов снижается смертность в раннем возрасте.

*Численность популяций не остается постоянной* даже при выходе на плато, обнаруживаются закономерные подъемы и спады численности, имеющие циклический характер. В зависимости от этого выделяется несколько *типов динамики численности*. *Стабильный тип* характеризуется малой амплитудой и длительным периодом колебаний численности. Внешне она воспринимается как стабильная. Такой тип свойствен крупным животным с большой продолжительностью жизни, поздним наступлением половозрелости и низкой плодовитостью. Это соответствует низкой норме смертности. *Лабильный (флуктуирующий) тип* отличается закономерными колебаниями численности с периодом порядка 5-11 лет и значительной амплитудой (в десятки, иногда сотни раз). Характерны сезонные изменения обилия, связанные с периодичностью размножения. *Этот тип свойствен* животным с продолжительностью жизни 10-15 лет, более ранним половым созреванием и высокой плодовитостью. К нему относятся крупные грызуны, зайцеобразные, некоторые хищные, птицы, рыбы и насекомые с длинным циклом развития. *Эфемерный (взрывной) тип* динамики отличается неустойчивой численностью с глубокими депрессиями, сменяющейся вспышками массового размножения, при которых численность возрастает в сотни раз. Ее перепады осуществляются очень быстро. Общая длина цикла обычно составляет до 4-5 лет, из них пик численности занимает чаще всего 1 год. Этот тип динамики характерен для короткоживущих (не более 3 лет) видов с несовершенными механизмами адаптации и высокой гибелью (мелкие грызуны и многие виды насекомых).

### ***Экологические стратегии выживания.***

Разные типы динамики отражают разные жизненные стратегии. Это положено в основу концепции экологических стратегий. *Экологические стратегии выживания* – стремление организмов к выживанию. Их суть сводится к тому, что выживание и воспроизводство вида возможно либо путем совершенствования адаптаций, либо путем усиления размножения, что компенсирует гибель особей и в критических ситуациях позволяет быстро восстановить численность.

*Первый путь называется К-стратегией*. Он свойствен крупным формам с большой продолжительностью жизни. Их численность лимитируется главным образом внешними факторами. *К-стратегия* означает отбор на качество – повышение адаптивности и устойчивости. Она направлена на повышение выживаемости в условиях уже стабилизировавшейся численности популяции.

Это отбор на конкурентоспособность, повышение защищенности от хищников и паразитов, повышение вероятности выживаемости каждого потомка. *R-стратегия* – отбор на количество через компенсацию больших потерь высоким репродуктивным потенциалом (поддержание устойчивости популяции через быструю смену особей). Этот тип стратегии свойствен мелким животным с большой смертностью и высокой плодовитостью. Виды с *R-стратегией* легко осваивают местообитания с нестабильными условиями и отличаются высоким уровнем энергозатрат на репродукцию. Их выживание определяется высокой репродукцией, позволяющей быстро восстанавливать потери. Существует ряд переходов от *R* к *K-стратегии*. Каждый вид в своей адаптации к условиям существования комбинирует разные стратегии в различных сочетаниях. *R* - отбор преобладает на ранней стадии развития популяции, а *K-отбор* – уже характерен для стабилизированных систем.

Для растений Л. Г. Раменский (1938) выделил 3 типа стратегий: *виолентный* (конкурентоспособные виды с высокой жизненностью и способностью быстро осваивать пространство); *пациентный* (виды, устойчивые к неблагоприятным воздействиям и потому способные осваивать недоступные для других местообитания); *эксплерентные* (виды, способные к быстрому размножению, активно расселяющиеся и осваивающие места с нарушенными ассоциациями).

### **Факторы динамики численности популяции**

К не зависящим от плотности населения относятся *комплекс абиотических факторов*, которые в основном воздействуют через климат и погоду. Они действуют на уровне организма и поэтому их эффект не связан с численностью или плотностью. Действие этих факторов односторонне: организмы могут к ним приспособляться, но не в состоянии оказать обратное влияние. Эффект воздействия климатических факторов проявляется через смертность, возрастающую по мере отклонения силы воздействия фактора от оптимума. Уровень смертности и выживания определяется только силой фактора с учетом адаптивных возможностей организма и некоторых характеристик среды (наличие убежищ, смягчающее действие попутных факторов и т.п.). Климат может воздействовать и косвенно, через изменения кормовых условий. Связь абиотических факторов со структурой популяции может выражаться в избирательной смертности определенных групп животных (молодняка, мигрантов и др.). На основе изменения структуры популяции может меняться (как вторичный эффект) уровень воспроизведения. Однако действие климатических факторов не приводит к созданию устойчивого равновесия. Эти факторы не способны реагировать на изменения плотности, т. е. действовать по принципу обратных связей. Поэтому метеорологические условия относятся к категории *модифицирующих факторов*.

Факторы, *зависящие от плотности популяции*, включают влияние на уровень и динамику численности пищи, хищников, возбудителей болезней и т.д. Действуя на численность популяций, они сами испытывают влияние с их стороны и поэтому относятся к категории *регулирующих факторов*. Эффект

действия проявляется с некоторым замедлением. В результате плотность популяции проявляет закономерные колебания вокруг оптимального уровня.

*Ёмкость среды* (максимальная численность популяции) определяется возможностью среды обеспечить популяцию необходимыми ресурсами: кормом, убежищем, особями противоположного пола и т. д. Когда численность популяции приближается к емкости среды, возникает нехватка корма, вследствие его усиленного выедания. И тогда приводится в действие механизм регуляции численности популяции через внутривидовую конкуренцию за ресурс. *Если плотность популяции высокая* – ее регулирует повышение смертности в результате обострения конкуренции. Часть особей погибает либо из-за нехватки корма (травоядные животные), либо в результате биологической или химической «войны». Повышение смертности приводит к снижению плотности. *Биологическая «война»* – это умерщвление конкурентов внутри популяции путем прямого нападения (хищники одного вида). Резкое снижение кормовых ресурсов может приводить к возникновению каннибализма (поедание себе подобных). *Химическая «война»* – это выделение химических веществ, задерживающих рост и развитие или убивающих молодых особей (растения, водные животные). *Если плотность популяции низкая* – происходит ее пополнение за счет увеличения рождаемости вследствие возобновления кормовых ресурсов и ослабления конкуренции.

*Регуляция численности популяции* через количество кормовых ресурсов четко прослеживается на примере взаимодействия *популяций хищника и жертвы*. Они оказывают взаимное влияние на численность и плотность друг друга, вызывая повторяющиеся подъемы и спады численности обеих популяций. При взаимоотношениях типа *паразит-хозяин* и влиянии эпизоотий осуществляется взаимная регуляция численности популяций паразита и хозяина. При повышении плотности популяции облегчается передача возбудителей от одной особи к другой, так как увеличивается частота контактов. В результате возникает вспышка заболевания, приводящая к увеличению смертности. Снижение плотности популяции хозяина препятствует переносу возбудителя. При этом среди выживших есть животные, которые переболели в слабой форме и приобрели иммунитет. Следовательно, хищники и паразиты в природе играют регулирующую роль, препятствуя чрезмерному росту численности других популяций. Полное их уничтожение приведет к нарушению равновесия в природных системах.

*Популяционные циклы*. Динамика рождаемости и смертности проявляется через механизмы авторегуляции, т. е. популяция принимает участие в образовании ответа на воздействие факторов в виде типов динамики численности. *Система авторегуляции* работает по принципу кибернетики: информация о плотности ↔ механизмы ее регуляции. Такая система регулирования уже содержит в себе источник постоянных колебаний. Это выражается циклом динамики численности: *амплитудой* (размах колебаний) и *периодом* (продолжительность цикла).

Поддержание оптимальной плотности путем регулирования уровня размножения и смертности находится в тесной зависимости от *структуры*

*популяции*. По мере усложнения структуры усложняются механизмы регуляции (у высших позвоночных имеет значение также поведение). Их эффективность основана на разнокачественности особей в составе популяции: уровень размножения изменяется в зависимости от положения в общей структуре популяции. Колебания численности сказываются на пространственной структуре популяции: повышение плотности компенсируется расселением из ядра популяции и созданием поселений на периферии. В зависимости от характера сезонных изменений численности меняется демографическая структура популяции, интенсивность размножения и уровень выживания.

*Таким образом*, динамика численности животных представляет собой взаимодействия популяции с условиями ее жизни. Изменения численности происходят под влиянием сложного комплекса факторов, действие которых трансформируется через внутривидовые механизмы. При этом колебания связаны с динамикой структуры популяции и ее параметров. *Для человека* знание законов популяционной динамики имеет одно из первостепенных значений, так как они могут быть в определенной мере применимы и к обществу. Особую важность эти знания приобретают в связи с демографическими и возникающими на их основе некоторыми экологическими проблемами современности.

#### ***Динамика ценопопуляций.***

*Ценопопуляция* (от греч. κοινός – «общий» и лат. populatio – население) – совокупность особей вида в пределах одного фитоценоза, занимающего определенное местообитание. *Динамика ценопопуляций* выражена в изменениях популяционных параметров. В отношении растений рассматриваются популяционные циклы с позиций изменения структуры и функций популяций. *Структура ценопопуляций* может рассматриваться в нескольких аспектах: состав популяции (количественное соотношение элементов), строение (взаимное расположение элементов в пространстве), функционирование (совокупность связей между элементами).

*Динамика ценопопуляций* включает изменения во времени всех аспектов структуры (численность, биомасса, продукция семян, возрастной спектр и состав). Численность и плотность ценопопуляции зависят от соотношения рождаемости и смертности. Плодовитость у цветковых растений соответствует потенциальной семенной продуктивности (число семязачатков на побег). Фактическая семенная продукция (число полноценных спелых семян на побег) отражает реальный уровень воспроизводства популяции. Она отражает процессы популяционного самоподдержания. *Факторы, ограничивающие семенную продуктивность*: недостаточность опыления, нехватка ресурсов, влияние фитофагов и болезней. Большое значение имеет вегетативное размножение – отделение структурных частей и их переход к самостоятельному существованию. Изменения уровня воспроизводства и смертности формируют динамику структуры, биомассы и функционирования ценопопуляций.

*Плотность влияет на интенсивность роста растений, состояние семенной продукции и вегетативного роста. При увеличении плотности смертность возрастает, а в ряде случаев изменяется и тип выживания. При малых плотностях смертность велика, поскольку здесь значительно влияние внешних факторов. С увеличением плотности формируется «эффект группы», а при загущении сверх определенного порога смертность вновь возрастает в результате перекрытия фитогенных зон и взаимного угнетения. Зависимая от плотности смертность направлена против неограниченного роста популяции и стабилизирует ее численность в пределах, близких к оптимуму.*

## **1.4. Биоценоз и экосистема**

### **1.4.1. Пространственная и трофическая структура биоценоза**

#### ***Общие понятия о биоценозе.***

Популяции, заселяющие общие места обитания, неизбежно вступают в определенные взаимоотношения в области питания, использования пространства, влияния на особенности микро- и мезоклимата и т. д. Длительное совместное существование лежит в основе формирования межвидовых сообществ – *биоценозов*, в которых подбор видов не случаен, а определяется возможностью непрерывного поддержания круговорота веществ. *Биоценоз* (от греч. *bíos* – жизнь, *koínós* – общий) — исторически сложившаяся совокупность взаимосвязанных популяций растений, животных, грибов и микроорганизмов, населяющих экологически однородную среду обитания. Место обитания биоценоза – *биотоп* (от греч. *bíos* – жизнь, *tópos* – место) – участок территории с однородными условиями среды. *Составляющими компонентами биоценоза являются:* фитоценоз, зооценоз, микоценоз, микробоценоз. *Фитоценоз* – растительное сообщество, произрастающее на определенной территории и изменяющееся как по сезонам, так и по годам. *Зооценоз* – совокупность популяций животных, населяющих определенный биотоп. *Микоценоз* – сообщество различных видов грибов. *Микробоценоз* – совокупность популяций бактерий и протистов. *По происхождению различают первичные и вторичные биоценозы. Первичные биоценозы практически не подвержены деятельности человека (недоступные участки тайги, горные леса). Во вторичных биоценозах отмечается заметное влияние человека (большинство биоценозов на Земле).*

Все формы биоценологических отношений осуществляются в определенных условиях абиотической среды. Рельеф, климат, геологическое строение, гидрографическая сеть и др. факторы оказывают влияние на состав и биологические особенности видов, формирующих биоценоз, служат источником неорганических веществ, аккумулируют продукты обмена веществ. Неорганическая среда – *биотоп* – представляет собой необходимую часть биоценологической системы, обязательное условие ее существования. *Биотоп* включает воздух с климатическими факторами (*климатоп*), почву (*эдафотоп*) и воду (*гидротоп*). Эти компоненты взаимодействуют между собой и формируют среду обитания биоценоза. *Основные типы взаимоотношений видов в*

*биоценозах* – это *пищевые* (питание одних видов другими, конкуренция за пищу), *пространственные* (распределение в пространстве, конкуренция за место поселения или убежища), *средообразующие* (формирование структуры биотопа, микроклимата).

*Связи популяций в биоценозах.* В зависимости от характера потребностей выделяют четыре типа связей: трофические, топические, форические, фабрические. *Трофические связи* (от греч. *trophē* – пища) – связи между популяциями, когда особи одной популяции получают пищу за счет особей другой популяции. *Топические связи* (от греч. *tópos* – место) – связи между популяциями, когда особи одной популяции используют особей другой популяции в качестве местообитания или испытывают их влияние на свою среду обитания. *Форические связи* (от греч. *phora* – ношение) – связи между популяциями, когда особи одной популяции участвуют в расселении (распространении) особей другой популяции. *Фабрические связи* (от лат. *fabrīco* – изготовлять) – связи между популяциями, когда особи одной популяции используют выделения или мертвые части тела особей другой популяции в качестве материала для строительства гнёзд, нор, убежищ и др.

### ***Видовая структура биоценоза.***

*Видовая структура* – видовое разнообразие биоценоза и соотношение видов по численности. *Видовое разнообразие биоценоза* можно охарактеризовать с помощью двух количественных показателей: видовое богатство и видовая насыщенность. *Видовое богатство* – общее количество видов, обитающих в биотопе. Каждый вид в биоценозе представлен популяцией. Природные биоценозы считаются бедными, если их видовое богатство составляет десятки и сотни видов (биоценозы хвойных лесов, пустынь, высокогорий). В богатых биоценозах количество видов достигает нескольких тысяч (тропические леса, саванны). *Видовая насыщенность* – количество видов, приходящихся на единицу площади или единицу объема биотопа. Устойчивее будет биоценоз с меньшей площадью биотопа. В нем будет выше видовая насыщенность, а значит, больше вероятность образования связей между популяциями и выше их прочность. *Видовое разнообразие биоценоза* зависит от условий среды в биотопе. Условия же среды определяются его географическим положением. Видовое разнообразие зависит и от возраста биоценоза. Молодые, только начинающие развиваться биоценозы бедны по видовому составу. Они становятся богаче по мере развития. Наибольшее видовое разнообразие наблюдается в зрелых устойчивых биоценозах. Следовательно, по видовому разнообразию можно определить стадию развития биоценоза.

*В природе границы между биоценозами редко бывают резкими, чаще всего наблюдается постепенный переход.* В результате образуется *переходная зона*, которая имеет уникальный комплекс факторов среды, не характерный для соседних биотопов. По протяженности она всегда меньше, чем территория каждого из биотопов. Эта зона называется *эктоном*. Она более богата видами, чем каждое из смежных сообществ. Объясняется это тем, что здесь встречаются

как виды из соседних сообществ, так и виды, характерные только для экотона. Тенденция к увеличению видового разнообразия на границе сообществ называется *краевым* или *пограничным эффектом*.

В любом биоценозе есть виды, преобладающие по численности и занимающие большую площадь территории биотопа. Эти виды называются *доминантными* или *доминантами*. Виды, живущие за счет доминантов, получили название *предоминантов*. Виды, создающие условия для жизни других видов данного биоценоза (средообразующие виды), называются *видами-эдификаторами*.

В зависимости от доли особей данного вида в общей численности особей биоценоза – степени доминирования, их разделяют на четыре категории: *субдоминантные виды* – довольно многочисленные и часто встречающиеся в биотопе виды, но заметно уступающие по численности доминантным; *малочисленные виды* – виды с небольшой численностью, изредка встречающиеся в биотопе; *редкие виды* – виды с очень малой численностью, встречающиеся только в отдельных местах биотопа; *случайные виды* – виды, нетипичные для данного биоценоза, и представленные здесь единичными экземплярами.

Все виды в биоценозе связаны с доминирующими видами и эдификаторами. Внутри биоценоза формируются группировки (комплексы популяций), зависящие либо от растений-эдификаторов, либо от других элементов биоценоза. Видовая структура биоценоза характеризуется не только числом видов в его составе, но и соотношением между числом видов и каким-либо показателем: биомассой, продуктивностью и т. п.

### ***Пространственная структура биоценоза.***

*Пространственная структура биоценоза* – закономерное расположение видов в биотопе, как в вертикальном, так и в горизонтальном направлениях. Для биоценоза характерны *вертикальная (ярусность)* и *горизонтальная (мозаичность)* структуры. *Вертикальная структура биоценоза (ярусность)*. В наземных биоценозах основную роль в формировании вертикальной структуры играют растения разной высоты. Благодаря этому наблюдается вертикальное расслоение биоценоза на структурные части. Эти части биоценоза, занимающие разное положение по отношению к уровню почвы, называются *ярусами*, а состоящая из них вертикальная структура биоценоза – *ярусностью*.

Главную роль при формировании видового состава растительных ярусов играет *количество света*, достигающее каждого яруса. От него зависит температурный режим и влажность на разных уровнях (ярусах) биоценоза. Верхние ярусы составляют светолюбивые растения. Ниже располагаются теневыносливые, а в самом низу обитают тенелюбивые растения. Такое распределение растений способствует более полному усвоению солнечной энергии. До поверхности почвы доходит лишь 1-5 % света, поступающего в биоценоз. В *одноярусных фитоценозах* большая часть поступающей солнечной энергии не усваивается. Она идет на нагревание почвы и частично отражается. Растительные ярусы создают микроклимат для существования других видов.

Каждый растительный ярус заселяется определенными видами животных и микроорганизмов. Большинство видов приспособлено к конкретным ярусам. Но есть виды, которые в силу различных обстоятельств занимают в разное время жизни разные ярусы. Их называют внеярусными видами.

*В наземных биоценозах различают надземную и подземную ярусность.* Ярусы нумеруются римскими цифрами. Первым считается самый удаленный от уровня почвы ярус (как надземный, так и подземный). Наиболее четко ярусность выражена в лесных биоценозах, где фитоценозы образованы различными жизненными формами растений. Там представлены деревья, кустарники, кустарнички, однолетние и многолетние травы, занимающие разное пространственное положение относительно уровня почвы.

*Подземная ярусность* обусловлена разной глубиной расположения корневой системы. Она, как правило, является зеркальным отражением надземной ярусности, но количество ярусов в ней меньше. Чем выше деревья, тем глубже в почву проникают их корни. Расположение корней на разной глубине снижает остроту конкуренции между растениями за воду, минеральное питание, кислород. *К подземным ярусам относятся:* подстилка, корневое пространство и минеральный слой. В *подстилке* начинается преобразование отмершего органического вещества в гумус (перегной). Здесь находятся мхи, грибы, лишайники, муравьи, жуки, улитки, пауки, черви. В *корневом пространстве* формируется почва. *Минеральный слой* (почвообразующий субстрат) состоит из горной породы и ее преобразованных деятельностью микроорганизмов частей.

*Горизонтальная структура биоценоза* выражена его мозаичностью и реализуется в виде неравномерного распределения популяций по площади (мозаичность). Она определяется особенностями биотопов (разница почвенно-грунтовых условий, рельефа, микроклимата) и взаимоотношениями видов. В результате формируются группировки, в которых популяции связаны между собой более тесными отношениями, чем с остальной частью биоценоза. В лесном биоценозе, например, четко видны различия между опушкой леса, поляной, участками леса с сильно выраженным кустарниковым подростом, или со сплошным моховым покровом, или с покровом из черничника.

### ***Общее понятие о экосистеме.***

*Биоценоз* представляет собой форму организации живого населения, многовидовую экосистему. В ее состав входят представители различных таксонов. *Биоценоз* (от греч. *bíos* – жизнь, *koinós* – общий) – исторически сложившаяся совокупность взаимосвязанных популяций растений, животных, грибов и микроорганизмов, населяющих экологически однородную среду обитания.

*Экосистема* – комплекс из сообщества живых организмов и неживых компонентов среды их обитания, связанных между собой обменом вещества и энергии. Гниющий пень с населяющими его беспозвоночными, грибами и бактериями представляет собой экосистему небольшого масштаба (микрэкосистема). Озеро с водными и околоводными организмами является

экосистемой среднего масштаба (мезоэкосистема). А море с его многообразием водорослей, рыб, моллюсков, ракообразных – экосистема крупного масштаба (макроэкосистема).

*Структура экосистемы.* В экосистеме виды организмов выполняют разные функции, благодаря которым осуществляется круговорот веществ. В зависимости от роли, которую виды играют в круговороте, их относят к разным функциональным группам: *продуцентам, консументам или редуцентам.*

*Продуценты* (от лат. *producens* – создающий), или *производители*, – автотрофные организмы, синтезирующие органическое вещество из минерального с использованием энергии. Если для синтеза органического вещества используется солнечная энергия, то продуцентов называют *фототрофами*. К фототрофам относятся все зеленые растения, лишайники, цианобактерии, автотрофные протисты, зеленые и серобактерии. Продуценты, использующие для синтеза органического вещества энергию химических реакций окисления неорганических веществ, называются *хемотрофами*. Ими являются железобактерии, бесцветные серобактерии, нитрифицирующие и водородные бактерии.

*Консументы* (от лат. *consumo* – потребляю), или *потребители*, – гетеротрофные организмы, потребляющие живое органическое вещество и передающие содержащуюся в нем энергию по пищевым цепям. К ним относится большинство животных, насекомоядные растения, растения-паразиты. Организмы, потребляющие продуцентов, называются *консументами I порядка*. К ним относятся растительноядные животные (кузнечики, саранча, грызуны, парно- и непарнокопытные животные) и растения-паразиты. Консументов I порядка потребляют *консументы II порядка*, которые представлены плотоядными животными и насекомоядными растениями. *Консументами III* и последующих порядков являются более крупные плотоядные животные. *Количество порядков консументов в экосистеме ограничено и определяется объемом биомассы, созданной продуцентами.*

*Редуценты* (от лат. *reducens* – возвращающий), или *разрушители*, – гетеротрофные организмы, разрушающие отмершее органическое вещество любого происхождения до минерального. Образующееся минеральное вещество накапливается в почве и в дальнейшем поглощается продуцентами. В экологии отмершее органическое вещество, вовлеченное в процесс разложения, называется детритом. *Детрит* – отмершие остатки растений и грибов, трупы и экскременты (непереваренные остатки корма) животных с содержащимися в них бактериями.

*Процесс разложения детрита идет в три этапа:* механическое измельчение, гумификация (образование перегноя), минерализация. В зависимости от этапа разложения, осуществляемого редуцентами, их разделяют на три порядка. *Редуценты I порядка* (механические разрушители) осуществляют механическое измельчение детрита и подготавливают субстрат для биологического разложения. К ним относятся сапротрофные животные (детритофаги): мокрицы, некоторые клещи, многоножки, ногохвостки, жуки мертвоеды, некоторые насекомые и их личинки, черви. *Редуценты II порядка*

(гумификаторы) частично разлагают детрит, превращая его в гумус (перегной). Ими являются грибы, гетеротрофные протисты, крупные бактерии. *Редуценты III порядка* (минерализаторы) обеспечивают полное разложение гумуса до минеральных веществ. К ним относятся почвенные бактерии размером менее 0,1 мм. Именно их часто называют истинными редуцентами.

Скорость возобновления биомассы организмов экосистемы называется *биологической продуктивностью*. Она выражается количеством образующейся продукции. Благодаря многократному использованию вещества и постоянному притоку энергии экосистемы способны длительно поддерживать стабильное существование. Населяющие их продуценты, консументы и редуценты при этом обеспечивают возобновление своей биомассы несмотря на то, что запас веществ в биосфере ограничен и не пополняется.

*Продукция экосистемы* – количество биомассы, образующейся в экосистеме на единице площади или в единице объема биотопа за единицу времени. Экосистемы сильно различаются по количеству образующейся продукции. Она убывает в последовательности: тропический лес → субтропический лес → лес в зоне умеренного климата → пашня → степь → океан → пустыня.

*Биомасса экосистемы* – общее количество органического вещества всех живых организмов, накопившегося в данной экосистеме за предыдущий период ее существования. Биомасса экосистемы выражается в единицах сырой массы или массы сухого органического вещества на единицу площади: в г/м<sup>2</sup>, кг/м<sup>2</sup>, кг/га, т/км<sup>2</sup> (наземные экосистемы) или на единицу объема (водные экосистемы).

*Первичная и вторичная продукции*. В зависимости от того, какие вещества и энергия используются для возобновления биомассы, в экосистеме различают первичную и вторичную продуктивность. Соответственно, образующаяся при этом продукция называется первичной и вторичной. *Первичная продукция* – биомасса, созданная автотрофными организмами (продуцентами) из минеральных веществ в процессе фото- или хемосинтеза. Основной объем первичной продукции на Земле создают зеленые растения. *Вторичная продукция* – биомасса, созданная гетеротрофными организмами (консументами и редуцентами) из органического вещества после его частичного расщепления.

### ***Трофическая структура биоценозов.***

*Основная функция биоценозов* – поддержание круговорота веществ в биосфере - базируется на пищевых взаимоотношениях видов. Поэтому каждый биоценоз включает представителей трех экологических групп – продуцентов, консументов и редуцентов. В конкретных биоценозах они представлены популяциями многих видов. Функционально все виды распределяются на несколько групп в зависимости от их места в общей системе круговорота веществ и потока энергии. Равнозначные в этом смысле виды образуют трофический уровень, а взаимоотношения между видами разных уровней - систему цепей питания. Совокупность трофических цепей в их конкретном выражении формирует целостную трофическую структуру биоценоза.

*Цепь питания (пищевая цепь)* – последовательность организмов, в которой происходит поэтапный перенос вещества и энергии от источника (предыдущего звена) к потребителю (последующему звену). В зависимости от вида исходного источника вещества и энергии цепи питания подразделяют на *два типа*. *Пастбищные цепи (цепи выедания)* – пищевые цепи, которые начинаются с продуцентов и включают консументов разных порядков. *Трофический уровень* – совокупность организмов, которые, в зависимости от способа их питания и вида корма, составляют определенное звено пищевой цепи. Трофические уровни принято нумеровать. *Первый трофический уровень* составляют автотрофные организмы (продуценты), на *втором трофическом уровне* находятся растительноядные животные (консументы I порядка), на *третьем и последующих уровнях* – плотоядные животные (консументы II, III и т. д. порядков). В природе почти все организмы питаются не одним, а несколькими видами кормов. Следовательно, любой организм может находиться на разных трофических уровнях в одной и той же пищевой цепи в зависимости от характера корма. В природе пастбищные цепи в чистом виде не встречаются. Они связаны между собой общими пищевыми звеньями и образуют пищевую сеть, или сеть питания.

*Детритные цепи (цепи разложения)* – пищевые цепи, которые начинаются с детрита, включают редуцентов разных порядков и заканчиваются минеральными веществами. Благодаря детритным цепям в природе замыкается круговорот веществ.

*Экологические пирамиды*. На каждом трофическом уровне пастбищной цепи не вся съеденная биомасса идет на образование биомассы консументов данного уровня. Значительная ее часть затрачивается на процессы жизнедеятельности организмов: движение, размножение, поддержание температуры тела и т. д. Кроме того, часть корма не усваивается и в виде продуктов жизнедеятельности попадает в окружающую среду. Таким образом, большая часть вещества и содержащейся в нем энергии при переходе от одного трофического уровня к другому теряется. Если на каждом трофическом уровне пищевой цепи определить число особей, или их биомассу, или количество заключенной в ней энергии, то станет очевидным уменьшение этих величин по мере продвижения к концу цепи питания. Эту закономерность впервые выявил английский эколог *Ч. Элтон* в 1927 г. Он назвал ее правилом экологической пирамиды. На каждом трофическом уровне пищевой цепи теряется в среднем около 90 % энергии, и только 10 % переходит на следующий уровень. Американский эколог *Р. Линдеман* в 1942 г. сформулировал эту закономерность как правило 10 %.

*Известны три типа экологических пирамид*. *Пирамида чисел* отражает численность особей в каждом звене пищевой цепи. В пищевой цепи численность особей уменьшается в каждом последующем звене по сравнению с предыдущим. Примером может служить пирамида чисел, состоящая из листовенного дерева, листогрызущих гусениц, мелких насекомоядных и крупных хищных птиц. *Пирамида биомассы* отражает количество органического вещества, накопленного на каждом трофическом уровне

пищевой цепи. *Пирамида энергии* отражает закономерности расходования энергии на разных трофических уровнях.

#### 1.4.2. Формы межвидовых связей в экосистемах

***Экологическая ниша. Фундаментальная и реализованная экологические ниши.***

Положение вида, которое он занимает в общей системе биоценоза, комплекс его биоценологических связей и требований к абиотическим факторам среды называют *экологической нишей вида*. Понятие «экологическая ниша» следует отличать от понятия «местообитание». В последнем случае подразумевается та часть пространства, которая заселена видом, и которая обладает необходимыми абиотическими условиями для его существования. *Д. Хатчинсон* первым сформулировал понятие ниши как представление о всей сумме связей вида с абиотическими условиями среды и другими видами живых организмов. Его концепция представляет экологическую нишу как многомерное пространство, по осям которого отложены пределы требований вида к отдельным экологическим факторам. *Д. Хатчинсон* выдвинул понятия *фундаментальной* и *реализованной* экологической ниши. Под *фундаментальной* понимается весь набор условий, при которых вид может успешно существовать и размножаться. *Реализованная экологическая ниша* – это положение вида в конкретном сообществе, где его ограничивают сложные биоценологические отношения. Иными словами, фундаментальная экологическая ниша характеризует потенциальные возможности вида, а реализованная – ту их часть, которая может осуществиться в данных условиях, при данной доступности ресурса. Реализованная ниша, как правило, меньше фундаментальной, поскольку в каждом биоценозе часть подходящих для вида условий либо отсутствует, либо не может быть реализована из-за конкуренции.

*Ю. Одум* подчеркивает значение экологической ниши в определении участия вида в функционировании экосистемы. Он вкладывает в понятие ниши физическое пространство, занимаемое популяцией, место вида в системе градиентов внешних факторов и его функциональная роль в экосистеме. По *Одуму*, *экологическая ниша организма* зависит не только от того, где он живет, но и от того, что он делает (как преобразует энергию, каково его поведение, как он реагирует на физическую и биологическую среду) и как он ограничен другими видами. Такая позиция наиболее точно определяет понятие экологической ниши как интегрированного выражения места вида в биоценозе. Успешное выживание и воспроизводство в данной экологической нише определяется комплексом приспособлений, что определяет жизненные формы видов. Жизненные формы организмов, занимающих одинаковые экологические ниши, могут быть морфологически сходны у неродственных видов. В разных экосистемах сходные экологические ниши занимают разные виды.

*Сложность структуры биоценоза* (количество ниш в нем) зависит от степени гетерогенности абиотической среды (биотопа). Для животных существенна также степень сложности фитоценоза (его видовой состав,

ярусность и т. п.). Чем сложнее условия, тем больше количество отличных по биологическим особенностям видов могут освоить данный биотоп. Отсюда возрастает биологическое разнообразие биоценоза, т. е. число занятых ниш. Повышение уровня биологического разнообразия выражается в возрастании числа видов в биоценозе, а уменьшение объема ниш каждого вида ведет к ограничению их численности. При благоприятных условиях высоко число видов, но каждый из них представлен небольшим числом особей. В неблагоприятных условиях это соотношение меняется на обратное.

*В борьбе видов за экологические ниши проявляется конкуренция. Межвидовая конкуренция* – любое взаимодействие между популяциями которое отрицательно сказывается на их росте и выживании. Явление экологического разобщения близкородственных видов получило название *правила конкурентного исключения*, сформулированное русским ученым Г. Ф. Гаузе для близких по экологии видов, может быть выражено таким образом, что два вида не уживаются в одной экологической нише. Межвидовая конкуренция за ресурсы касается пространства, пищи, биогенных веществ и др. Результатом межвидовой конкуренции может быть либо взаимное приспособление двух видов, либо популяция одного вида замещается популяцией другого вида, а первый вынужден переселиться на другое место или перейти на другую пищу.

*Экологические ниши растений* четко очерчены у видов, различающихся по питанию: *паразитов* (заразиха, повилика, раффлезия), *полупаразитов* (погремок, марьянник, омела), *насекомоядных растений* (росянка, пузырчатка, непентес). Но и зеленые фотоавтотрофные растения занимают разные экологические ниши в фитоценозах. *Множественность экологических ниш* определяется разным использованием растениями среды, размещением органов в воздухе и почве, ритмами сезонного развития, длительностью периода вегетации, сроками цветения и особенностями плодоношения, взаимосвязями с элементами абиотической среды и всеми компонентами биоценоза.

*В водоемах растения*, полностью погруженные в воду (элодея, роголистник), оказываются в иных условиях температуры, освещенности, газового режима, чем плавающие на поверхности (ряска) или укореняющиеся на дне и выносящие листья на поверхность (кувшинка, кубышка). *Различаются они и взаимосвязями со средой*. Эпифиты тропических лесов занимают сходные, но все же не идентичные ниши, так как относятся к разным экологическим группам по отношению к свету и воде (гелиофиты и сциофиты, гигрофиты, мезофиты и ксерофиты). Разные эпифитные орхидеи имеют узкоспециализированных опылителей.

### ***Межвидовые отношения в экосистеме.***

*Межвидовые отношения в биоценозах* реализуются через сложные формы взаимодействия популяций разных видов. В их основе лежат трофические связи, обеспечивающие биологический круговорот. Однако существуют и межвидовые отношения других типов. На основе этих связей формируются различные биотические взаимоотношения, которые могут по-разному

отражаться на численности и жизнеспособности популяций в экосистеме. Американский эколог *Ю. Одум* предложил классифицировать биотические взаимоотношения по характеру их влияния на взаимодействующие популяции (виды). *Согласно этой классификации*, любое взаимоотношение можно описать с помощью сочетания двух символов, показывающих его последствия для популяций. Символ «0» означает отсутствие заметных для вида последствий данного взаимоотношения. Польза для вида от взаимодействия с другим видом обозначается символом «+», а отрицательное влияние такого взаимодействия — символом «-». Используя эти символы, можно дать характеристику наиболее распространенным в экосистеме типам взаимоотношений.

*Конкуренция* (от лат. *concurrentia* – соперничество) – взаимно невыгодный тип взаимоотношений между видами со сходными потребностями. Эта форма взаимоотношений возникает в тех случаях, когда два вида используют одни и те же ресурсы (пища, пространство, убежища и т.д.). Устойчивое существование биоценозов всегда связано с выработкой адаптаций, смягчающих конкуренцию. Различают две формы конкурентных отношений: прямая конкуренция (интерференция) и косвенная (эксплуатация). При прямой между видами складываются антагонистические отношения (драки, перекрытие доступа к ресурсу, химическое подавление конкурента и т.п.). Косвенная конкуренция выражается в том, что один из видов монополизировал ресурс или местообитание, ухудшая при этом условия существования другого, обладающего сходными требованиями к среде и ресурсам. При этом не наблюдается прямых форм воздействия видов друг на друга. Успех в конкурентной борьбе определяется биологией видов (скорость роста, интенсивность размножения, плотность и др.). Эффект проявляется в вытеснении одного вида другим.

Механизмы конкурентного вытеснения разнообразны. Наиболее часто выражен *антибиоз*, при котором метаболиты одного вида смертельны для другого. У растений подобные отношения называются *аллелопатией* (от греч. *allelon* – взаимно; *pathos* – страдание). У животных также часто встречается подавление конкурентов. Конкурентные взаимодействия оказывают существенное влияние на структуру биоценозов. Формируется социальная иерархия видов в составе сообщества с выделением доминирующих и второстепенных форм. Длительное сосуществование биологически сходных видов способствует их специализации, сужению и расхождению экологических ниш.

*Аменсализм* (от лат. *mensa* – трапеза) – тип межвидовых взаимоотношений, при котором один вид, именуемый *аменсалом*, претерпевает угнетение роста и развития, а второй, именуемый *ингибитором*, таким испытаниям не подвержен. Амменсализм весьма распространен в водной среде.

*Хищничество* – тип взаимоотношений видов разных трофических уровней, когда один вид (хищник) живет за счет другого (жертвы) в результате его умерщвления и поедания.

*Паразитизм* (от греч. *parásitos* – нахлебник) – тип взаимоотношений популяций разных видов, из которых одна (паразит) использует другую

(хозяина) в качестве среды обитания и источника пищи. Паразитизм распространен среди мелких организмов – вирусов, бактерий, грибов. Встречается и среди некоторых растений (повилика, заразиха), червей и др.

*Нейтрализм* – тип отношений между видами, при котором они не имеют прямых взаимоотношений и не оказывают друг на друга заметного биологического воздействия. Он характерен прежде всего для растений. У животных встречается в отношениях между видами, не принадлежащими к смежным трофическим уровням.

*Симбиоз* (от греч. symbiosis – совместная жизнь) – такая система отношений, при которой формируются тесные функциональные взаимодействия, выгодные для обоих видов (мутуализм) или только для одного из них (комменсализм).

*Мутуализм* (от лат. mutuus – взаимный) – взаимовыгодный и обязательный для жизни хотя бы одной из популяций тип взаимоотношений. При нарушении этих взаимоотношений жизнь одной или обеих популяций становится невозможной.

*Комменсализм* (от лат. com – «вместе» и mensa – «стол», «трапеза»; буквально «у стола», «за одним столом»; ранее – сотрапезничество) – способ совместного существования (симбиоза) двух разных видов живых организмов, при котором один из партнёров этой системы (комменсал) возлагает на другого (хозяина) регуляцию своих отношений с внешней средой, но не вступает с ним в тесные взаимоотношения. Если взаимоотношения возникают на основе трофических связей, то такая форма комменсализма называется *нахлебничеством*. Если же популяции взаимодействуют на основе топических связей, то это проявление комменсализма называется *квартирантством*.

*Протокооперация* (факультативный симбиоз) – форма симбиоза, при которой совместное существование взаимно выгодно, но, в отличие от облигатного симбиоза (где сосуществование организмов жизненно необходимо для каждого), является необязательным, то есть каждый из организмов при отсутствии партнёра может жить самостоятельно.

### ***Взаимоотношения паразит-хозяин.***

*Паразитизм* – это форма биотических взаимодействий, при которых один из видов получает преимущества за счет другого, которому он наносит вред. Паразиты питаются соками тела, тканями или переваренной пищей своих хозяев (многократное использование в отличие от хищника). *Наиболее важные преимущества живого организма как среды обитания. Гомеостазированность внутренней среды организма означает постоянство условий обитания.* Это позволяет не вырабатывать многих механизмов, функция которых – приспособление к колеблющимся внешним условиям. Происходит экономия энергии, затрачиваемой на адаптацию. *Использование живого организма как среды обитания означает прекращение или упрощение связей с внешней средой.* Все взаимодействия с окружающими условиями берет на себя организм хозяина, в котором благодаря комплексу адаптивных реакций создается устойчивая система условий жизни. У них отсутствует необходимость сложных

адаптаций. Многие паразиты отличаются редуцированной нервной системой (ее функции переданы нервной системе хозяина). *Организм хозяина защищает не только от абиотических факторов среды, но и укрывает от различного рода врагов.* Это делает ненужной выработку приспособлений от нападения хищников. *Обитая в/на организме, паразит питается за его счет.* При этом в пищу используются вещества, легко доступные для усвоения (клеточный сок растений, кровь животных, содержимое пищеварительного тракта).

*Формы паразитизма и связанные с этим взаимные адаптации паразитов и их хозяев чрезвычайно многообразны.* Различают *эктопаразитизм*, при котором паразит обитает на хозяине и связан с его покровами (клещи, блохи, вши) и *эндопаразитизм*, когда паразит живет внутри тела хозяина. Среди растений эктопаразиты отличаются тем, что тело располагается вне организма хозяина, и лишь органы питания (гаустории) проникают в его ткани (мучнисторосяные грибы). Эндопаразиты (главным образом, грибы) погружены в ткани хозяина, а снаружи находятся лишь органы размножения.

*По степени тесноты связей паразита и хозяина выделяют облигатный и факультативный.* *Облигатные паразиты* ведут паразитический образ жизни и не выживает без обязательной связи с хозяином (паразитические черви или вши). Они характеризуются наиболее полным комплексом приспособлений к использованию организма хозяина как среды жизни. *Факультативные паразиты*, как правило, ведут свободный образ жизни и лишь при особых условиях переходят к паразитическому существованию.

*По продолжительности связи с хозяином отличаются постоянные и временные паразиты.* *Постоянные паразиты* связаны с хозяином долговременным его использованием в качестве среды обитания по крайней мере в имагинальной стадии развития. *Временные паразиты* вступают в контакт с хозяином только на время питания на нем (комары, слепни, мошки, вампиры и др.). Существует еще форма *периодического паразитизма*, при которой стадии паразитического существования сменяются.

*Паразитический образ жизни связан с необходимостью адаптироваться к условиям обитания.* Возникают приспособления в виде зацепок, крючьев, присосок; образуются капсулы и т.д. У хозяев формируется *система активной и пассивной защиты.* У растений, например, в качестве *пассивной защиты* выступает выделение смолы, у животных – инкапсулирование паразитов. *Активные пути защиты* от инвазирования свойственны животным и выражаются в различных формах иммунитета. 1-ое звено иммунных реакций – покровы, препятствующие внедрению паразита в организм хозяина. Эта функция может усиливаться выделением ядовитой или бактерицидной слизи. 2-ое звено представлено фагоцитозной активностью клеток крови, пожирающих или разрушающих клетки болезнетворных бактерий. 3-е звено – биохимические иммунные реакции организма хозяина в виде выработки антител и антитоксинов.

*Животным свойственны разные способы самоочищения.* Паразиты противопоставляют этому формирование адаптивной формы тела (уплощенной, округло-удлиненной), твердых и упругих покровов (блохи, вши), прочной

кутикулы (черви). Для многих паразитов характерна синхронизация годовых циклов с ритмами жизнедеятельности их хозяев.

В масштабах биоценоза тесные паразитарные связи объединяют ряд видов специфическими взаимоотношениями. Например, природные очаги инфекций, в состав которых включаются возбудитель болезни (вирус, бактерии), переносчики (членистоногие и др.) и хозяева. По составу видов, обеспечивающих циркуляцию инфекции в природном очаге, заболевания подразделяются на *трансмиссивные* и *нетрансмиссивные*. *Трансмиссивные* включают полный набор компонентов; передача возбудителя идет через эктопаразитов-переносчиков (чума, туляремия, сезонные энцефалиты). *Нетрансмиссивные* заболевания передаются при непосредственном контакте носителей или через среду (переносчиков нет) – лептоспирозы, листериоз.

*Комплекс адаптаций*, настраивающих биологию паразитов к особенностям морфологии, физиологии и экологии их хозяев, создает высокий уровень специализации паразитов. По существу, *паразитизм есть одна из форм симбиоза*: один из партнеров возлагает на другого регуляцию своих отношений с внешней средой. Он отличается от комменсализма и мутуализма тем, что один из видов не только не извлекает пользы от такого сожительства, но и испытывает угнетение. Обоюдные адаптации приводят к тому, что негативное влияние паразита часто не оказывается губительным для хозяина.

### ***Взаимоотношения хищник-жертва.***

*Эволюция приводит к выработке противоположно направленных адаптаций*: у жертв они способствуют снижению пресса хищников, а у последних – повышению результативности охоты. У *зоофагов* большую роль играет поведение. Тип охоты у разных плотоядных коррелирует со спецификой биологии жертв (подвижность и т.п.). *Приспособления жертв* могут быть *морфологическими* (твердые покровы, шипы, колючки), *поведенческими* (затаивание, убежание, активная оборона) или *физиологическими* (продукция ядовитых или отпугивающих веществ). У ряда видов они сочетается с типом окраски. Возникает *мимикрия* – сходная окраска у нескольких видов (от греч. *mimikos* – подражательный). Покровительственная окраска жертв определяется разными механизмами. Хищники также используют *ядовитые вещества* для умерщвления своих жертв (ядовитые змеи). Реже ядовитые вещества используются для обездвиживания жертв. Так, в слюне землеройки содержится яд, который парализует насекомых, остающихся еще 3-5 дней живыми (образуется запас живых «консервов»).

Взаимоотношения хищников и жертв могут быть выражены адаптивным поведением. В некоторых случаях меняется морфологическая форма защиты жертвы. Результатом воздействия хищников является изменение демографической структуры популяций жертв. Это связано с выборочностью питания (санитарная роль хищников). *Каннибализм*, т. е. поедание себе подобных, наиболее развит у хищных рыб – щук, окуней, корюшки, трески, наваги и др. В условиях обостренной конкуренции за пищу или воду каннибализм проявляется иногда и у нехищных животных.

### ***Взаимоотношения растений и животных.***

*Трофические связи могут определять вторичные взаимодействия. В распространении семян особую роль играют млекопитающие и птицы.* Они не только потребляют семена в пищу. Ряд видов создает запасы семян, которые используют зимой. Оставшиеся семена весной прорастают. Некоторые растения (репейник, череда) цепляются шипами за животных и с ними переносятся. *Опыление цветковых растений животными имеет в своей основе трофические связи (питание пыльцой).* Функции опыления свойственны многим насекомым. Они отыскивают цветки с помощью зрения. *Характерна синхронизация биоциклов растений и их опылителей.* У видов, опылители которых активны ночью, цветки открываются вечером и закрываются к утру. Для них характерны белая окраска и сильный запах. В свою очередь, опылители подстраивают свой жизненный цикл к ритмам опыляемых растений. *Некоторые птицы* используют для питания нектар и одновременно производят опыление. Строения самих цветков морфологически приспособлены к опылению птицами. Так, строение цветка орхидеи соответствует клюву опыляющей ее колибри. *В опылении растений принимают участие и млекопитающие.* Рукокрылые-опылители отличаются хорошим зрением и обонянием, но в отличие от других рукокрылых почти не способны к ультразвуковой локации. У хироптерофильных (опыляемых рукокрылыми) растений цветки белые, выставлены на длинных прочных цветоножках за пределы кроны, что облегчает подлет к ним.

*Формы взаимосвязи растений и животных образовались и на основе прямых трофических связей.* Количество потребляемой фитомассы определяется приспособлениями растений к ограничению их выедания животными (образование твердой коры, шипов, колючек и др.). Эти образования снижают вероятность поедания, но не обеспечивают полной недоступности, поскольку у фитофагов вырабатываются приспособления противоположного характера. *Большое значение имеют химические формы связей.* Некоторые растения накапливают ядовитые, раздражающие или дурнопахнущие вещества. В некоторых случаях избегание поедания определяется неприятным запахом, вкусом, жжением, даже может быть связано с возникновением токсикогенных патологий. В природе химическая форма защиты эффективна потому, что у животных создается избирательность в питании, снижающая потребление пищи, которая содержит вторичные метаболиты. Животные различают растения по запаху. У ряда видов избирательность питания выражена очень четко: предпочтение может быть оказано даже отдельным особям или их частям. *У фитофагов* может сформироваться устойчивость к вторичным метаболитам растений, даже в случаях их высокой токсичности. Выделения растений могут выступать как регуляторы репродуктивных циклов животных. Удобрение почвы экскрементами животных способствует развитию растительности и повышению продуктивности фитоценоза.

*Роль животных в формировании растительных сообществ наиболее заметна в аридных экосистемах. Например, в прериях роющая деятельность*

гоферов способствует улучшению роста многолетних трав, проростки которых быстрее растут на выбросах этих животных. С другой стороны, роющая деятельность вызывает смену растительности: на нарушенных участках снижается обилие злаков. Стадные копытные способствуют «подстриганию» травы, разбивают копытами растительность, втаптывают семена в почву и удобряют ее. Это отражается на устойчивой репродукции растительных сообществ. Усиление нагрузки ведет к уплотнению почвы, что увеличивает ее капиллярность. В результате восходящие потоки влаги с повышенным содержанием солей испаряются с поверхности почвы. Происходит засоление почв, что приводит к смене злаков полынями, солянками и др.

### 1.4.3. Структура биогеоценоза и динамика экосистем

#### *Понятие о биогеоценозе.*

*Биогеоценоз* – это совокупность однородных природных явлений, имеющая свою специфику взаимодействия слагающих ее компонентов и определенный тип обмена веществом и энергией между собой и другими явлениями природы и представляющая собой внутренне противоречивое единство, находящееся в постоянном движении и развитии. Несмотря на некоторые различия, термины «биоценоз», «экосистема» и «биогеоценоз» практически означают одно и то же природное явление – *надвидовой уровень организации биосистем.*

*Биогеоценоз* – исторически сложившаяся совокупность живых (биоценоз) и неживых (биотоп) компонентов однородного участка суши, где происходит круговорот веществ и превращение энергии. *Биогеоценоз включает две структурные части – биоценоз и биотоп.* Каждая из этих частей состоит из определенных компонентов, которые между собой взаимосвязаны.

*Биогеоценоз и экосистема* – близкие понятия, обозначающие биосистемы одного уровня организации. Общим признаком для этих систем является наличие в них обмена веществом и энергией между живым и неживым компонентами. Однако вышеуказанные понятия не являются синонимами.

*Экосистемы* имеют разную степень сложности, разные масштабы, они могут быть естественными (природными) и искусственными (созданными человеком). В качестве отдельных экосистем могут рассматриваться капля воды из лужи с микроорганизмами, болотная кочка с ее «населением», озеро, луг, пустыня и, наконец, биосфера – экосистема самого высокого ранга. *Следовательно, экосистема не имеет определенной размерности.*

*Биогеоценоз* отличается от экосистемы территориальной ограниченностью и определенным составом популяций (биоценоз). Его границы определяются наземным растительным покровом (фитоценозом). Изменение растительности свидетельствует об изменении условий в биотопе и о границе с соседним биогеоценозом. *Биогеоценозы выделяют только на суше.*

*Понятие «экосистема» более широкое, чем «биогеоценоз».* Экосистемой можно назвать любой биогеоценоз, а вот биогеоценозом можно назвать только наземные экосистемы. С точки зрения обеспечения питательными веществами

биогеоценозы более автономны (независимы от других биогеоценозов), чем экосистемы. В них происходит замкнутый круговорот веществ между организмами и окружающей средой, обеспечивающий единство живой и неживой природы. *Экосистемы более открытые системы чем биогеоценозы.*

### ***Динамика экосистем.***

*Любая экосистема достаточно изменчива, несмотря на относительную стабильность ее структуры.* Изменение состояния экосистемы в ответ на изменение условий среды называется *динамикой экосистемы*. Тип динамики зависит от характера изменения экологических факторов среды, которые приводят к изменению свойств и структуры популяций, их взаимоотношений и состава. Изменение факторов среды может носить *циклический или однонаправленный* характер, вследствие чего будут возникать *периодические или поступательные* изменения экосистемы.

*Циклические изменения* сообществ отражают суточную, сезонную и многолетнюю периодичность внешних условий и проявления внутренних (эндогенных) ритмов. При *суточных изменениях* не происходит перестройки видового состава и основных форм взаимоотношений в биоценозе. Они, как правило, заметны как перемены в формах деятельности и функциональном состоянии особей. *Суточная ритмика биоценозов отражает их нишевую структуру.* Разделение периодов активности во времени снижает уровень прямой конкуренции (интерференции) и таким образом открывает возможность сосуществования видов со сходными биологическими требованиями. Расхождение в суточной активности приводит к усложнению биоценоза, повышению биоразнообразия и более полному использованию ресурсов среды.

*Сезонная динамика экосистем – периодические изменения экосистемы, связанные со сменой времён года.* В зависимости от положения Земли относительно Солнца в экосистему поступает разное количество солнечного света, тепла, влаги. Наиболее резкие изменения этих факторов при смене сезонов года наблюдаются в умеренных и высоких широтах. Именно в направлении от экватора к полюсам отмечается усиление выраженности сезонной динамики экосистем. Наступление неблагоприятного периода вызывает миграции и кочевки у птиц, спячку у млекопитающих, оцепенение у пресмыкающихся и земноводных. В растительном сообществе в течение года четко отслеживаются периоды листопада, зимнего покоя, активной вегетации, цветения, плодоношения, подготовки к зиме. В животном мире размножение особей связано с наличием кормовой базы для потомства, которая также зависит от времени года.

*В водной среде сезонные изменения связаны с гидрологическими периодами.* Они не совпадают в различных зонах и характеризуются колебаниями видового состава гидробионтов, их биомассы и биологической активности. *Биологическая весна* характеризуется массовым развитием фитопланктона, а зоопланктон на этом фоне начинает размножение. *Лето* отличается массовым развитием зоопланктона и уменьшением биомассы

водорослей. *Осень* знаменуется общим снижением планктона. *Зима* – время минимальной биомассы планктона, причем многие виды проводят этот сезон в покоящихся стадиях.

*Многолетняя изменчивость* зависит от климатических флуктуации, а также периодических изменений других внешних для биоценоза факторов. Кроме того, она может быть связана с периодичностью жизненных циклов отдельных видов. Многолетние изменения имеют тенденцию повторяться вслед за локальными изменениями климата, обусловленными усилением и ослаблением солнечной активности.

*Поступательные изменения* в экосистемах приводят в конечном итоге к смене одного сообщества живых организмов другим сообществом. Причиной такой смены могут быть внешние факторы, длительное время действующие в одном направлении. Возникающие при этом изменения биоценозов называются *экзогенетическими*, а если они приводят к упрощению структуры сообщества и обеднению его состава – *дигрессионными (дигрессии)*. Изменения биоценозов, возникающие за счет процессов, происходящих внутри самого сообщества, называются *эндогенетическими*.

### ***Экологические сукцессии. Гомеостаз на уровне экосистем.***

Поступательные изменения экосистемы вызываются однонаправленным изменением условий среды. В результате направленного изменения абиотических факторов существующие в экосистеме популяции начинают вымирать. Новые условия среды становятся непригодными для их существования, так как сила воздействия факторов выходит за пределы выносливости популяций. Вместо них заселяются новые популяции, для которых эти условия благоприятны. Это приводит к смене одного биоценоза другим с новым набором видов. В результате происходит смена всей экосистемы. *И так будет продолжаться до тех пор*, пока не стабилизируются условия среды, и сформируется конечная равновесная экосистема, т. е. *пока не произойдет сукцессия*.

*Сукцессия* (от лат. *successio* – преемственность, последовательность) – закономерная, последовательная смена одних экосистем другими на определенной территории под влиянием направленного изменения природных факторов или деятельности человека. Основные положения сукцессий базируются на изучении фитоценозов. Это связано с тем, что смены сообществ основываются на функциях автотрофов. На базе фитоценоза развиваются гетеротрофы и лишь вторично влияют на его состав и свойства. Последовательный ряд постепенно и закономерно сменяющих друг друга в сукцессии сообществ называется *сукцессионной серией*, а сами экосистемы — *серийными стадиями*. Экосистема, в которой достигается равновесное состояние сообщества и окружающей среды, называется *климаксовой стадией* или *климаксом* (от греч. *klímax* – зрелая ступень). Типичными климаксовыми экосистемами являются тундра, тайга, ковыльная степь. Теоретически климаксовая экосистема способна поддерживать себя неограниченно долго.

Смены сообществ могут происходить и под влиянием других факторов, не только климата (рельеф, почвы, гидрологический режим и т.п.). Виды организмов, участвующие в сукцессионных сообществах, изменяют условия обитания для других видов и таким образом готовят почву для последующего этапа сукцессии. В соответствии с этим различают *экзоэкогенетические (или аллогенные)* и *эндоэкогенетические (автогенные) сукцессии*. В *экзоэкогенетических сукцессиях* происходит смена, вызванная внешними, абиотическими причинами: осушение болот, загрязнение водоемов, неумеренный выпас скота и т.п. *Эндоэкогенетические сукцессии* вызваны изменением структуры и системы связей в существующих сообществах. Эти 2 категории сукцессий взаимосвязаны и могут переходить одна в другую.

*В общем виде сукцессии (по Клементсу) проходят фазы: обнажения* (появление незаселенного пространства), *миграции* (заселения его первыми формами жизни), *эцесиса* (колонизация и приспособление к условиям среды), *соревнования* (конкуренция с вытеснением ряда первичных вселенцев), *реакции* (обратное воздействие сообщества на биотоп и условия существования), *стабилизации* (формирование климаксового биоценоза).

*По Сукачеву начальный этап сукцессий – сингенез* – процесс исходного формирования растительного покрова, связанного с вселением (миграцией) растений на данную территорию, их отбором в процессе приспособления к ее условиям (эцесис), затем и конкуренцией между ними из-за средств жизни. *Сингенетическая сукцессия*, происходящая изначально из-за абиотических свойств местности, приводит к формированию фитоценоза, после чего идет по принципу эндоэкогенетической сукцессии. Сукачев считал конкуренцию важным механизмом стабилизации, в процессе которых достигается равновесное состояние.

*В сукцессионных сериях существуют 3 категории отношений между организмами. Модель облегчения (или стимуляции)* соответствует фазе эндоэкогенетической сукцессии и заключается в том, что ранние поселенцы своей деятельностью изменяют среду, делая ее доступной для следующей волны колонистов. *Модель толерантности* проявляется в виде конкурентных отношений, в результате которых происходит отбор более толерантных видов. Смена видов основывается на их различии в стратегии потребления ресурсов; виды поздних стадий более устойчивы. *По модели ингибирования* все виды сообщества способны одновременно колонизировать открывшееся местообитание, устойчивы к вторжению конкурентов, но позднейшие вселенцы способны закрепиться и увеличить численность только после выпадения предшественников.

*Сукцессия* может проходить как на основе *K-стратегии* (отбор на признаки, способствующие закреплению), так и *R-стратегии* (избегание сукцессионного пресса, поиски и захват новых мест, где сукцессия только началась). *Выделяют два основных типа сукцессий в зависимости от первоначального состояния субстрата — первичные и вторичные. Первичные сукцессии* начинаются на месте, ранее лишенном жизни. При первичных сукцессиях сериальные стадии сменяют одна другую в течение значительного

промежутка времени. Достижение климаксовой стадии занимает длительный период (столетия и тысячелетия). *Вторичные сукцессии* начинаются на месте разрушенной экосистемы. В современных условиях вторичные сукцессии наблюдаются повсеместно. Смена сериальных стадий и достижение климакса в этом случае происходит значительно быстрее (десятки и сотни лет), чем при первичных сукцессиях. Поскольку здесь сохраняется почва, семена, зачатки и части предшествующего населения и связей, то начальные стадии в этом случае менее продолжительные, чем последующие.

*Вековые смены экосистем.* Сукцессии такого масштаба охватывали целые геологические периоды и осуществлялись как смены типов сообществ в связи с изменениями климата, рельефа и других свойств поверхности Земли. Они отражают историю развития биосферы. Смены флоры и фауны, идущие в геологических масштабах времени, отличаются от типичных экологических сукцессий тем, что они начинаются не с заселения незанятых жизнью мест, а с перестройки внутренних связей уже сложившихся экосистем. Причиной смены видового состава оказывается то, что медленно идущие изменения среды приводят к потере видами ранее выработанной приспособленности к условиям обитания. Они замещаются другими видами, более адаптивными к новым условиям.

*Динамическое равновесие экосистемы в изменяющихся условиях среды называется гомеостазом экосистемы.* Гомеостаз достигается благодаря саморегуляции. *Саморегуляция* происходит после любого внешнего воздействия (антропогенного или природного), которое изменяет состояние экосистемы. Она представляет собой способность экосистемы к восстановлению своих прежних свойств и структуры. В результате саморегуляции формируются экосистемы, наиболее характерные для конкретного региона.

*Зрелая климаксовая экосистема обладает высокой устойчивостью.* Чем больше разнообразие видов в экосистеме и сложнее трофические связи между ними, тем *устойчивее экосистема*. При высоком видовом разнообразии консументы имеют широкую сеть пищевых ресурсов. В случае недостатка или отсутствия одного вида корма они способны переключиться на другой источник питания. Это дает возможность недостающему корму восстановиться. Так устанавливается *динамическое равновесие между пищевыми ресурсами и их потребителями в условиях постоянных изменений условий среды*.

#### **1.4.4. Прикладные аспекты экологии**

##### ***Формирование и функционирование агроэкосистем.***

*Агроэкосистемы* (от греч. agrós – поле) – искусственные экосистемы, созданные и используемые человеком для получения сельскохозяйственной продукции или отдыха. Агроэкосистемы занимают примерно 30 % свободной ото льда суши нашей планеты. Из них около 10 % приходится на пахотные земли, почти 20 % занимают пастбища. *Отличительными особенностями агроэкосистем являются:* небольшое видовое разнообразие, низкая

устойчивость, неспособность к саморегуляции, неполный и незамкнутый круговорот веществ, наличие дополнительного источника энергии, высокая биологическая продуктивность.

*Условно агроэкосистемы можно разделить на два типа:* агроэкосистемы доиндустриального периода и агроэкосистемы индустриального периода. Для агроэкосистем доиндустриального периода характерно использование дополнительной энергии только в виде мышечных усилий человека и животных. Получаемая от них продукция в основном используется семьей производителя и лишь частично идет на местный рынок. Доиндустриальные агроэкосистемы гармонизируют с природными экосистемами, не вызывая их загрязнения, но характеризуются низкой продуктивностью. Агроэкосистемы индустриального периода получают дополнительную энергию в основном в виде техники, горючего, минеральных удобрений, пестицидов (химических средств борьбы с вредителями). Для них характерна высокая продуктивность. Производимая продукция в основном идет на рынок (в том числе на международный) и лишь частично используется производителями.

*Современные агроэкосистемы представляют экологическую опасность для природных экосистем.* Применяемые для повышения их продуктивности химические средства борьбы с вредителями и возбудителями болезней – пестициды, с помощью воды, воздуха, по цепям питания переносятся в природные экосистемы, загрязняя их. Следовательно, нужно переходить на биологические методы борьбы. Избыточное внесение минеральных и органических удобрений может вызывать загрязнение грунтовых вод и поверхностных водоемов. Сорняки и насекомые-вредители из агроэкосистем способны мигрировать в природные экосистемы и отрицательно влиять на них. Искусственная регуляция численности вредителей – по большей части необходимое условие поддержания агроэкосистем. Это связано прежде всего с необходимостью подавления видов, вышедших из-под контроля естественных регуляторных механизмов. Поэтому в сельскохозяйственной практике применяют мощные средства подавления численности нежелательных видов: ядохимикаты, гербициды и т. д.

*Для того чтобы снизить негативное воздействие агроэкосистем на природное окружение,* проводится большая работа по созданию продуктивных, высокоэкономичных и экологичных агрокомплексов. Селекционно-семеноводческий комплекс для получения нового поколения сортов и гибридов культурных растений с использованием мировых достижений в области биотехнологии и генетической инженерии. Их внедрение в сельское хозяйство позволит получать высокие урожаи при меньшем количестве вносимых удобрений и пестицидов.

*Структура агроэкосистемы.* Агроэкосистемы являются биосистемами того же уровня организации, что и природные экосистемы. Они включают сообщество и биотоп, которые связаны обменом вещества и энергии. Сообщество состоит из продуцентов, консументов и редуцентов, взаимодействующих за счет трофических связей, благодаря чему осуществляется круговорот веществ. Отличие сообщества агроэкосистемы от

природного сообщества отмечается на уровне видового состава функциональных групп организмов и их взаимосвязей. Каждая функциональная группа состоит из небольшого количества специфичных видов. Среди *продуцентов* доминирует культурный вид растений, имеется несколько видов сопутствующих сорняков. *Консументы* представлены беспозвоночными, паразитическими грибами и бактериями, питающимися преимущественно культурными растениями. Иногда могут присутствовать мелкие грызуны, некоторые птицы. На пастбищах доминируют виды домашних животных. Функцию *редуцентов* выполняют почвенные грибы, бактерии, дождевые черви. *Человек постоянно нарушает взаимодействие видов в сообществе через искусственный отбор и приемы агротехники.*

*Аквакультура* (от лат. aqua – вода и культура – возделывание, разведение, выращивание) – разведение и выращивание водных организмов (рыб, ракообразных, моллюсков, водорослей) в естественных и искусственных водоёмах, а также на специально созданных морских плантациях. *Марикультура* – часть аквакультуры, занимающаяся рыбоводством и выращиванием других организмов в морских водах (морское фермерство). *Рыбоводство* является формой аквакультуры. Оно предусматривает разведение рыбы на рыбоводных заводах в цистернах или загонах. Оборудование, которое позволяет выпускать молодняк рыб в дикую среду для развлекательного рыболовства или для пополнения численности природных видов, обычно относят к рыбным инкубаторным станциям.

*Проблемы, связанных с аквакультурой.* Как гигантский аквариум, наземные рыбные фермы представляют собой резервуары, содержащие грязную воду. В результате функционирования этих ферм в окружающую среду поступает значительное количество сточных вод, содержащих фекалии, питательные вещества, антибиотики и химикаты. В свою очередь это может привести к развитию водорослей, уменьшению содержания кислорода в воде и эвтрофикации. Как наземные, так и водные природные организмы могут потерять свои места обитания в результате строительства объектов аквакультуры вдоль прибрежной зоны. *Болезни.* Аквакультурные процессы могут приводить к распространению паразитов и болезней в дикую природу. У фермерской рыбы есть больше шансов получить паразитов, таких как морские вши, в отличие от рыбы, которая живет и размножается в своей естественной среде. Фермерская рыба также подвергается воздействию болезней с использованием необработанной рыбы, используемой в качестве источника пищи, в отличие от более безопасных обработанных рыбных гранул. *Инвазии.* Аквакультура – одна из самых больших причин появления иностранных видов, вводимых в новые районы. В результате миграции фермерских рыб они могут конкурировать за еду и среду обитания, вытеснять местные виды. Они также могут переносить болезни и паразитов, которые могут убивать местные виды. Кроме того, мигрирующие фермерские рыбы могут интенсивно размножаться, что может значительно изменять естественный генофонд и угрожать долгосрочному выживанию и эволюции диких видов.

Для стабильного, устойчивого обеспечения населения разнообразной рыбной продукцией, доступной для населения с различным уровнем доходов, удовлетворения потребностей сопредельных отраслей в технической продукции, сохранения биоразнообразия и организации досуга необходима научно обоснованная, воспринятая обществом и институтами государственной власти, долгосрочная стратегия развития аквакультуры. *Приоритетами развития аквакультуры, обеспечивающими достижение главной цели являются: эффективное использование естественных кормовых ресурсов водоемов за счет вселения и культивирования высокопродуктивных видов гидробионтов; снижение удельных затрат на производство продукции аквакультуры за счет применения ресурсосберегающих технологий и оборудования, сокращения потерь при вылове, транспортировке, переработке и реализации продукции; улучшение менеджмента производства продукции аквакультуры путем совершенствования структуры производства, применения современного маркетинга и повышения квалификации производственного персонала.*

Аквакультура в мире продолжает расширяться, становится более разнообразной, интенсивной и технологически продвинутой. С точки зрения роста она по-прежнему занимает доминирующие позиции среди секторов животноводства. В настоящее время аквакультура рассматривается не только как деятельность, удовлетворяющая нужды производителей продуктов питания, но и как одно из средств экономического роста и достижения разнообразных социальных и экологических целей. Осознание необходимости ускоренного развития аквакультуры ведет к принятию соответствующих законов и стратегий, регулирующих ее деятельность.

### ***Особенности антропоэкосистем.***

*Антропоэкосистема – пространственное подразделение среды обитания человека, во всех своих частях обладающее сходством природных, социально-экономических, производственных, эколого-гигиенических, культурно-бытовых условий жизнедеятельности населения, которые формируют мировосприятие и экологическое сознание, уровень здоровья, демографическое поведение, физический облик, трудовые навыки, образ жизни, обряды и обычаи, выбор религии, профессиональные предпочтения и пр.*

*Все элементы антропоэкосистемы взаимодействуют между собой, составляя большую систему. Общность людей, т.е. объединение людей, в котором создана и поддерживается определенная социальная связь. Этим термином можно обозначать все устойчивые формы совместной жизни. Среди общностей выделяются социальные группы, социальные круги, социальные слои и классы, территориальные общности, семьи, целевые группы, касты, кланы, племена, народы, нации. Общность людей реагирует на воздействие отдельных элементов и всей совокупности факторов внешней среды изменением своих основных характеристик – демографического поведения, экологического сознания, уровня здоровья, профессиональных предпочтений,*

уровня культуры, уровня образования и пр. Изменения эти могут быть как положительными, так и отрицательными.

*Природа.* Природа определяет наиболее важные параметры хозяйства и условия жизни населения, но одновременно сама находится под ощутимым прессингом хозяйственной деятельности людей. На жизнедеятельность населения непосредственно и опосредованно через социально-экономические условия влияют как отдельные компоненты природной среды, так и их совокупность. Среди них наиболее существенными являются: приземный слой атмосферы со всеми происходящими в нем процессами и явлениями, природные воды, почвенный покров, геологическое строение, стихийные явления (землетрясения, сели, паводки, цунами, ураганы, оползни, лавины). Для некоторых регионов, где хозяйство тесно связано с эксплуатацией биологических ресурсов – охотничий промысел, заготовка ценных сортов древесины и т.д., – важную роль в жизни людей играют растительность и дикие животные. Биологические компоненты экосистем могут стать источниками тяжелых отравлений после контакта с ядовитыми растениями и животными, а также опасных для жизни людей инфекционных заболеваний, возбудители которых сохраняются в природе и переносятся животными.

*Население.* Жизнедеятельность любой общности людей тесно связана с остальным населением, частью которого она является. Эти связи носят преимущественно положительный характер, но могут иметь и отрицательные последствия. Хозяйственные навыки, культурные традиции, религия, система воспитания, экономические процессы, торговля, осуществление крупнейших строительных проектов, защита от внешнего врага – все это и многое другое объединяет конкретные общности с остальными людьми, живущими с ними в едином хозяйственном, социальном, политическом пространстве, делает возможным их существование. В то же время отдельные человеческие общности могут пострадать от ненамеренного или намеренного вмешательства в их жизнедеятельность других групп населения.

*Хозяйство.* Хозяйство рассматривается как процесс взаимоотношений между человеческим обществом и природой, в результате которого люди посредством своего труда, используя определенные орудия производства, в условиях конкретных производственных отношений добывают себе необходимые средства существования и развития. Хозяйство как источник материальных благ и жизненного комфорта. Хозяйство как источник деградации окружающей среды, производственного травматизма, психологической усталости, стрессов и пр. Любое общество должно стремиться к максимальному усилению производящей функции хозяйства и минимизации его отрицательных свойств.

*Социально-экономические условия.* К ним относятся: занятость и условия труда; численность безработных; народное образование; обслуживание учреждениями культуры; социальное обеспечение и здравоохранение; доходы населения и бюджет семьи; потребление материальных благ и услуг; жилищные и коммунальные условия; торговое и бытовое обслуживание; отдых

и физкультура; миграция населения; оценка населением своей личной безопасности.

*Загрязнение окружающей среды* приводит к ухудшению состояния здоровья населения, изменениям в демографическом поведении, а также к порче и гибели рекреационных ресурсов (усыхание лесов, загрязнение водоемов и пляжей и т.д.), снижению урожайности и порче качества пищевых и технических культур, снижению продуктивности лесных насаждений, к невосполнимому урону святыням национальной и мировой культуры и истории.

*Воздействие антропогенных факторов* среды на общность людей может вызвать изменение ее основных параметров: *качества жизни, уровня здоровья, демографического поведения.* Демографическое поведение представляет собой систему взаимосвязанных действий или поступков, направленных на изменение или сохранение демографического состояния общности людей. Демографическое поведение включает действия, связанные с воспроизводством населения (брачное и репродуктивное поведение), миграцией населения (миграционное поведение), отношением к своему здоровью (самосохранительное поведение).

*Экологическое сознание.* Экологическое сознание – это способность понимания неразрывной связи человеческого сообщества с природой, зависимости благополучия людей от целостности и сравнительной неизменности природной среды и использования этого понимания в практической деятельности. Широкое распространение в общности людей экологического сознания чаще всего связано с определенными экологическими катаклизмами, которые заставляют людей задуматься о последствиях своей хозяйственной деятельности для природного окружения.

*Уровень здоровья* – количественная или оценочная характеристика качества здоровья населения, определяемая на основе показателей заболеваемости, инвалидности, смертности, продолжительности жизни и в значительной мере зависящая от условий жизни. *Влияние природных факторов на здоровье* может приводить к метеострессам, обострению сердечно-сосудистых заболеваний, возникновению некоторых форм онкологической патологии (например, рак кожи в районах с интенсивной инсоляцией), развитию эндемических заболеваний (кариес зубов, эндемический зоб), заражению природно-очаговыми инфекциями, травматизму при стихийных бедствиях и т.д. *Влияние техногенных факторов на здоровье* населения приводит к следующим последствиям: снижение работоспособности и социальной активности у условно здоровых людей; появление генетических нарушений, приводящих к возникновению наследственных болезней (генотоксический эффект) и угрожающих не только ныне живущему, но и будущим поколениям; возникновение онкологических заболеваний (их число во всем мире постоянно нарастает); ухудшение здоровья детей, живущих в загрязненных районах; увеличение числа острых и хронических заболеваний у трудоспособного населения и повышение в этой связи числа случаев невыхода

на работу по болезни; сокращение продолжительности жизни людей на территориях с высоким уровнем загрязнения среды обитания.

*Уровень культуры.* Культура в повседневной жизни представлена материальными предметами, социальными установлениями (институтами, традициями), духовными ценностями. Формируется культура путем обобщения опыта многих поколений, в результате материальной и духовной деятельности всех классов, групп и личностей, составляющих общество. Культура любой человеческой общности формируется под воздействием всех элементов антропоэкосистемы и в свою очередь влияет на жизнедеятельность людей, на хозяйство и социально-экономические условия, на отношение людей к природе, к другим людям, к культурному наследию и к другим культурам, к проблемам войны и мира.

*Уровень образования.* Уровень образования населения в значительной мере зависит от социальных, экономических и иных факторов. Образование рассматривается как социальный институт, который выполняет в обществе несколько крайне важных функций: экономическую, социальную и культурную. *Экономическая функция* образования состоит в создании и поддержании профессиональной структуры общества. Образование формирует работников, владеющих необходимыми знаниями и навыками для выполнения необходимой для общества деятельности. *Социальная функция образования* — участие, наряду с семьей и другими общественными институтами, в социализации личности, то есть в процессе становления каждого человека, усвоения им духовных и культурных ценностей, норм, установок, образцов поведения, которые присущи данному обществу, социальной общности или группе людей. *Культурная функция* образования заключается в том, чтобы использовать ранее накопленную культуру в целях просвещения и воспитания людей, формирования их творческих способностей. *Образование выступает важным фактором, влияющим на поведение людей.*

*Пространство, занимаемое антропоэкосистемой.* Любая антропоэкосистема занимает определенное пространство, существует на конкретной территории. Изменяется площадь антропоэкосистемы – меняется и сама система. Изменение территории антропоэкосистемы чаще всего происходит на протяжении достаточно длительных исторических промежутков времени и связано с ее саморазвитием, т.е. речь идет о пространственно-временной динамике. Причиной изменения границ антропоэкосистем может быть, например, экономическое освоение новых районов.

### ***Экологизация производства.***

Под *экологизацией производства* понимается максимально возможное уподобление производственных процессов в целом и ресурсных циклов, в частности природным круговоротам веществ в биосфере, либо это любые мероприятия, снижающие опасность производства для природы и человека. *Ресурсный цикл (РЦ)* – совокупность превращений и пространственных перемещений (добыча, переработка, транспортировка, хранение, погрузочно-разгрузочные операции и т.д.) определенного вещества, изъятого из природной

среды и выступающего в виде природного компонента, на пути использования его человеком до выхода вновь в природную среду. *В основе экологизации производственных ресурсных циклов лежит ресурсосбережение*, основанное на передовых технологиях использования природных ресурсов. *Ресурсосбережение* – это максимальное сбережение ресурсов на всех стадиях производства и использования. Природные компоненты выступают лишь начальным или промежуточным звеном в длинной цепи ресурсных циклов, которая связывает природу и продукцию производства, поступающую к потребителю. Ресурсосбережение является основой рационального природопользования.

*При рациональном природопользовании* требуется тщательный анализ взаимозаменяемости и дополняемости факторов производства (трудовые ресурсы, средства производства, природные компоненты) в народном хозяйстве, с позиций конечного результата, ради возможности экономии природных компонентов при сохранении количества и качества производимой продукции. Таким образом, оптимизация взаимодействия факторов роста производства, их комбинирование позволяет снизить нагрузку на природные компоненты, а значит и на природу. Только с учетом такой взаимозаменяемости факторов, с точки зрения экономического и экологического подхода, определяются реальные потребности общества в природных компонентах.

### ***Экологическое образование и воспитание.***

*Экологическое образование* – это непрерывный процесс воспитания, обучения, самообразования и развития личности, направленный на формирование норм нравственного поведения людей. *Экологическое воспитание* – это процесс непрерывного, систематического и целенаправленного формирования эмоционально-нравственного, гуманного и бережного отношения человека к природе и морально-этических норм поведения в окружающей среде.

Одной из задач *экологического образования* является формирование у учащихся умений оценивать состояние окружающей среды, ближайшего природного окружения. *Структура системы всеобщего комплексного и непрерывного экологического воспитания и образования включает*: дошкольное экологическое воспитание в семье и в специализированных воспитательных учреждениях; экологическое образование специалистов среднего звена (подготовка в техникумах, высших профессиональных и педагогических училищах); экологическое образование в высшей школе, а также экологическая подготовка педагогических и научных кадров.

*Содержание экологического образования* реализуется через межпредметные связи и основывается на системе научных идей, закладываемых в соответствующие учебные предметы: развитие и целостность природы в сфере жизни; взаимосвязь истории общества и природы; изменение природы в процессе труда; влияние среды на здоровье человека; природа как фактор нравственно-эстетического развития личности; оптимизация

взаимодействия в системе «природа - общество – человек». *Современный этап развития экологического образования строится на принципах:* единства; исторической взаимосвязи природы и общества; социальной обусловленности отношений человека к природе; на стремлении к гармонизации этих отношений.

*В качестве ядра системы экологического образования выделяют четыре взаимосвязанных компонента:* познавательный – основные идеи о характере взаимодействия природы и общества, о глобальных экологических проблемах и путях их решения и т.д.; *ценностный* – ценностные ориентации о многосторонней общественной и личной значимости природы; *нормативный* – основы нравственных и правовых норм природопользования, правила поведения в окружающей среде; *деятельностный* – виды и способы деятельности, направленные на формирование познавательных и практических умений экологического характера.

### ***Охрана окружающей среды. Сохранение биологического разнообразия.***

*Охрана окружающей природной среды* – совокупность международных, государственных и региональных мероприятий для сохранения, рационального использования и воспроизводства природы Земли в интересах ныне живущего и будущих поколений людей. Основной задачей природоохранной деятельности является сохранение видового разнообразия и генофонда флоры и фауны планеты. Кроме того, очень важно сохранить почвенный покров Земли от деградации и атмосферный воздух от загрязнения.

*Биологическое разнообразие (БР)* – это совокупность всех форм жизни, населяющей нашу планету. Это то, что делает Землю не похожей на другие планеты Солнечной системы. БР – это богатство и многообразие жизни и ее процессов, включающее разнообразие живых организмов и их генетических различий, а так же разнообразие мест их существования. БР делится на три иерархические категории: разнообразие среди представителей одного вида (генетическое разнообразие); между различными видами; между экосистемами.

*Причины современного ускоренного снижения биологического разнообразия:* быстрый рост населения и экономического развития, значительно изменяющие условия жизни всех организмов и экологических систем Земли; увеличение миграции людей, рост международной торговли и туризма; усиливающееся загрязнение воздуха, природных вод и почвы; нерациональное использование природных ресурсов; отсутствие оценки истинной стоимости биологического разнообразия и его потерь.

*Основные причины необходимости сохранения биологического разнообразия.* Все виды (какими бы вредными или неприятными они ни были) имеют право на существование. Это положение записано во «Всемирной хартии природы», принятой Генеральной Ассамблеей ООН. Наслаждение природой, ее красотой и разнообразием имеет высочайшую ценность, не выражающуюся в количественных показателях. Биологическое разнообразие – это основа эволюции жизненных форм. Снижение видового и генетического разнообразия подрывает дальнейшее совершенствование форм жизни на Земле.

Экономическая целесообразность сохранения биоразнообразия обусловлена использованием дикой биоты для удовлетворения различных потребностей общества в сфере промышленности, сельского хозяйства, рекреации, науки и образования: для селекции домашних растений и животных, генетического резервуара, необходимого для обновления и поддержания устойчивости сортов, изготовления лекарств, а также для обеспечения населения продовольствием, топливом, энергией, древесиной и т. д.

*Имеется много способов защиты биологического разнообразия.* На уровне видов выделяются два основных стратегических направления: в месте обитания; вне места обитания. Охрана биоразнообразия на уровне видов – дорогой и трудоемкий путь, возможный только для избранных видов, но недостижимый для охраны всего богатства жизни на Земле. Главное направление стратегии должно быть на уровне экосистем, чтобы планомерное управление экосистемами обеспечивало охрану биологического разнообразия на всех трех иерархических уровнях.

*Природное разнообразие* – совокупность представителей растительного и животного мира, природных комплексов, которые сформировались в процессе развития жизни на Земле. Имеется много способов защиты природного разнообразия. Наиболее эффективный и относительно экономичный способ его охраны представлен в форме *особо охраняемых территорий*. В соответствии с классификацией Всемирного союза охраны природы выделяются 8 видов особо охраняемых территорий:

1. *Заповедник.* Основная цель – сохранение природы и природных процессов в ненарушенном состоянии.

2. *Национальный парк.* Главная задача – сохранение значительных по площади природных территорий (включая акватории) национального и международного значения. Допускается использование для развития различных видов туризма и отдыха, а также для природоохранного просвещения, проведения научных исследований и экологического мониторинга.

3. *Памятник природы.* Особо ценный природный объект, обладающий большой научно-познавательной, эстетической или культурной ценностью и, как правило, небольшой по своим размерам.

4. *Управляемые природные резерваты.* Природная территория (включая акватории и водно-болотные угодья), особо значимая с точки зрения поддержания биологического разнообразия. Для местного населения разрешается контролируемая хозяйственная деятельность и ограниченное потребление природных ресурсов.

5. *Охраняемые ландшафты и морские природные комплексы.* Это живописные смешанные природные и окультуренные территории (акватории) с сохранением традиционной хозяйственной деятельности.

Эти пять категорий обычно включают в статистику по особо охраняемым территориям.

6. *Ресурсный резерват* создается для предотвращения преждевременного использования территории.

7. *Антропологический резерват* создаётся для сохранения традиционного образа жизни коренного населения.

8. *Территория многоцелевого использования природных ресурсов*, ориентированная на устойчивое использование вод, леса, животного и растительного мира, пастбищ и для туризма.

Имеются ещё две дополнительные категории.

9. *Биосферные заповедники*. Создаются с целью сохранения биологического разнообразия. Включают несколько концентрических зон различной степени использования: от зоны полной недоступности (обычно в центральной части заповедника) до зоны разумной, но достаточно интенсивной эксплуатации.

10. *Места всемирного наследия*. Создаются для охраны уникальных природных особенностей мирового значения. Управление осуществляется в соответствии с Конвенцией по всемирному наследию.

Цель, которую ставит перед мировой общественностью Всемирный союз охраны природы, – добиться расширения особо охраняемых территорий до размеров, составляющих 10 % площади каждой крупной растительной формации (биома) и, следовательно, мира в целом.

*Красная книга* – уникальный список редких и находящихся под угрозой исчезновения видов животных, растений, грибов, лишайников и протистов. История Красных книг мира началась в Париже в 1902 г., когда ряд стран подписали первую в своем роде Красную книгу – Международную конвенцию по охране птиц. Благодаря усилиям Международного союза охраны природы (МСОП) в 1963 г. появилось первое издание международной Красной книги, которое представляло собой сводку о 211 таксонах млекопитающих и 312 таксонах птиц. Красная книга Республики Беларусь содержит информацию о биологии редких и исчезающих видов, местах их распространения на территории страны и перечень мероприятий по их охране. Важным мероприятием в деле экологического воспитания является создание так называемых красных тетрадей – охранных документов местного значения, составляемых в школах юными экологами.

*Мониторинг окружающей среды*. *Мониторинг* – система наблюдений, оценки и контроля за состоянием окружающей человека природной средой с целью разработки мероприятий по ее охране, рациональному использованию природных ресурсов и предупреждению о критических ситуациях, вредных или опасных для здоровья людей, за существованием живых организмов и их сообществ, природных объектов и комплексов, прогнозирования масштабов неизбежных изменений. Первоочередное внимание в мониторинге уделяется наблюдению за антропогенными изменениями в природе. Достаточно глубоко изучается естественная, малоизмененная природа (как эталон для сравнения при оценке антропогенных изменений).

*В настоящее время классы, или уровни, мониторинга выделяются в соответствии:* с пространственно-временными параметрами контролируемых процессов: локальный, региональный, глобальный; *с целями контроля:* биоэкологический (санитарно-гигиенический), геоэкологический

(геосистемный, природно-хозяйственный), биосферный. *Основные задачи мониторинга:* наблюдения за состоянием окружающей среды; оценка текущего экологического состояния; прогноз состояния окружающей среды. *Принципы организации информационной системы мониторинга.* Регламентированность мониторинга. Принцип обязательности мониторинга на единой методической основе. Статистическое обобщение. Результатом функционирования системы должны быть статистические обобщения наблюдаемых величин, сравнение их с доступными историческими рядами, их вероятная оценка, пространственное осреднение.

## . ПРАКТИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ

### 2.1. Задания практических работ

**Практическая работа 1. Влияние среды обитания на живые организмы.**

**Цель занятия:** изучить особенности влияния среды обитания на живые организмы.

**Форма занятия:** практическая работа (2 часа).

**Материалы и оборудование:** рабочая тетрадь, компьютер, калькулятор, карандаши, ручка.

**Задание и методические указания по его выполнению:**

Охарактеризовать особенности строения и жизнедеятельности живых организмов в соответствии со средой обитания (водная, наземно-воздушная и почвенная среды жизни). Оформить работу в форме таблицы (Таблица 1). Сделать выводы о влиянии среды обитания на живые организмы.

Таблица 1 – Влияние среды обитания на живые организмы.

Виды живых организмов	Строение живых организмов			
	Форма, размеры, покровы тела	Органы и способы передвижения	Развитие органов чувств	Защита от неблагоприятных факторов
Водная среда жизни				
Наземно-воздушная среда жизни				
Почвенная среда жизни				

**Практическая работа 2. Определение объема угарного газа от сгорания топлива.**

**Цель занятия:** определить продукты сгорания органического топлива.

**Форма занятия:** практическая работа (2 часа).

**Материалы и оборудование:** рабочая тетрадь, компьютер, калькулятор, карандаши, ручка.

**Задание и методические указания по его выполнению:**

Выполнить расчеты по определению объема угарного газа, выделяющегося при полном сгорании древесины, угля или другого топлива в помещении с заданными параметрами (Таблица 2) Результаты оформить в виде отчета, сделать выводы об особенностях выделения и накопления угарного газа при полном сгорании древесины, угля или другого топлива в закрытом помещении.

Определение объема угарного газа, выделяющегося при полном сгорании древесины, угля или другого топлива в помещении со следующими параметрами:  $l = 4,0$  м – длина помещения;  $n = 2,0$  м – ширина помещения;  $h = 3,0$  м – высота помещения. Масса топлива  $m = 12$  кг; коэффициент сгорания  $k = 0,8$ ; коэффициент, отвечающий количеству углерода, подвергающегося неполному сгоранию (образующему СО)  $\psi_1 = 0,1$ ; коэффициент, отвечающий количеству углерода, образующего СО во вторичном процессе,  $\psi_2 = 0,15$ ,  $T_1 = 40^\circ\text{C} = 313$  К,  $P_1 = 780$  мм. рт. ст. Определить, с какой высоты помещения будет начинаться зона, заполненная угарным газом.

Считаем, что все сгоревшее топливо – чистый углерод. Тогда его количество определяется произведением массы топлива на коэффициент сгорания:

$$m_1 = m \cdot k \quad (1)$$

$$\text{или } m_1 = 12 \cdot 0,8 = 9,6 \text{ кг}$$

При сгорании топлива параллельно идут два процесса:



Часть  $\text{CO}_2$  вступает во вторичную реакцию с раскаленными углями:



Масса углерода, участвующего в реакции (2), равна:

$$m_2 = m_1 \cdot \psi_1 \quad (5)$$

$$\text{или } m_2 = 9,6 \cdot 0,1 = 0,96 \text{ кг}$$

Масса углерода, участвующего в реакции (3), равна:

$$m_3 = m_1 \cdot \psi_2 \quad (6)$$

$$\text{или } m_3 = 9,6 \cdot 0,15 = 1,44 \text{ кг}$$

Общая масса углерода, образующего СО, равна:

$$m_4 = m_2 + m_3 \quad (7)$$

$$\text{или } m_4 = 0,96 + 1,44 = 2,4 \text{ кг}$$

Допускаем, что весь процесс образования угарного газа идет по реакции (3). Исходя из соотношения масс, участвующих в химической реакции, находим массу образовавшегося угарного газа:

$$m_{\text{CO}} = \frac{m_4 \cdot M_{\text{CO}}}{M_c}$$

$$m_{\text{CO}} = \frac{2,4 \cdot 28}{12} = 5,6 \text{ кг}$$

Молекулярную массу CO находим как сумму атомных масс углерода и кислорода. Объем, который займет это количество угарного газа при нормальных условиях, составляет:

$$V_{\text{CO}} = \frac{5,6}{0,028} \cdot 22,4 = 4480 \text{ л или } 4,480 \text{ м}^3$$

где 0,028 кг – масса одного моля CO; 22,4 л – объем, занимаемый одним молем газа при нормальных условиях.

По уравнению объединенного газового закона найдем истинный объем угарного газа при  $T = 313 \text{ К}$ :

$$V_{\text{ист}} = \frac{P_0 \cdot V_0 \cdot T_1}{P_1 \cdot T_0}$$

где  $V_0 = V_{\text{CO}} = 4,480 \text{ м}^3$ ;  $T_0 = 273 \text{ К}$ ;  $P_0 = 760 \text{ мм. рт. ст.}$

$$V_{\text{ист}} = \frac{760 \cdot 4,480 \cdot 313}{780 \cdot 273} = 5,0 \text{ м}^3.$$

Площадь помещения равна  $S = l \cdot n = 4 \cdot 2 = 8 \text{ м}^2$ .

Определим высоту зоны, заполненной угарным газом:

$$h_x = \frac{V_{\text{ист}}}{S} = \frac{5}{8} = 0,625 \text{ м.}$$

Следовательно, угарный газ заполнит помещение выше уровня  $(h - h_x)$  или  $3 \text{ м} - 0,625 \text{ м} = 2,375 \text{ м}$ .

Ответ: зона, заполненная угарным газом, находится выше уровня 2,375 м.

Таблица 2 – Варианты заданий по определению объема угарного газа от сгорания топлива.

Варианты	m, кг	T <sub>1</sub> , °C	P <sub>1</sub> , мм.рт.ст.	K	ψ <sub>1</sub>	ψ <sub>2</sub>	l, м	n, м	h, м
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	15	42	780	0,75	0,1	0,15	2	4	2,2
2	25	46	784	0,83	0,18	0,17	3	5	3,7
3	17	50	786	0,82	0,17	0,18	8	3	2,8
4	24	54	785	0,76	0,19	0,19	3	6	2,7
5	19	40	788	0,79	0,2	0,14	3	3	3,2
6	31	58	787	0,77	0,3	0,12	2	4	3,7

Продолжение таблицы 2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
7	26	52	783	0,78	0,21	0,13	4	5	2,75
8	10	48	782	0,84	0,16	0,11	8	3	2,7
9	21	44	789	0,85	0,14	0,1	3	6	3,2
10	37	56	781	0,80	0,15	0,2	3	3	3,7
11	16	43	785	0,76	0,12	0,14	3	5	2,4
12	24	45	783	0,84	0,16	0,16	4	6	3,5
13	18	48	787	0,83	0,18	0,17	7	4	2,7
14	23	52	786	0,77	0,17	0,18	4	5	2,8
15	20	41	789	0,80	0,21	0,15	5	4	3,3
16	30	56	788	0,78	0,29	0,14	3	3	3,8
17	27	53	785	0,79	0,22	0,12	5	4	2,9
18	11	46	784	0,85	0,17	0,11	8	3	2,8
19	20	42	786	0,86	0,15	0,12	4	5	3,2
20	35	54	780	0,82	0,16	0,22	3	5	3,5

**Практическая работа 3. Определение эффективности мероприятий по защите атмосферного воздуха от загрязнения.**

**Цель занятия:** изучить методы определения эффективности проведения мероприятий по защите атмосферного воздуха от загрязнения.

**Форма занятия:** практическая работа (2 часа).

**Материалы и оборудование:** рабочая тетрадь, компьютер, калькулятор, карандаши, ручка.

**Задание и методические указания по его выполнению:**

Рассчитать площадь активного загрязнения атмосферы (ПАЗ) и оценить эффективность проведения природоохранных мероприятий по защите атмосферного воздуха для территории различных типов от загрязнения выбросами промышленного предприятия.

Результаты оформить в виде отчета, сделать выводы об особенностях проведения мероприятий по защите атмосферного воздуха от загрязнения для территорий различных типов хозяйственного использования.

Зона активного загрязнения атмосферы для организованных источников высотой  $H > 10$  м представляет собой кольцо между окружностями с внутренним и внешним радиусами  $r_{внутр}$  и  $r_{внеш}$  и определяется по формулам:

$$r_{внутр} = 2\varphi \cdot H, \quad (1)$$

$$r_{внеш} = 20\varphi \cdot H, \quad (2)$$

где  $H$  – высота источника загрязнения воздуха;

$\varphi$  – поправка на тепловой подъем факела, которая рассчитывается по формуле:

$$\varphi = 1 + \Delta t / 75, \quad (3)$$

где  $\Delta t$  – значение разности температуры выбрасываемой газовой смеси из устья источника загрязнения атмосферного воздуха и температурой окружающей среды (Таблица 3).

Площадь внутреннего круга  $S_{\text{внутр}}$  равна:

$$S_{\text{внутр}} = \pi \cdot r_{\text{внутр}}^2$$

Площадь внешнего круга  $S_{\text{внеш}}$  равна:

$$S_{\text{внеш}} = \pi \cdot r_{\text{внеш}}^2$$

Площадь зоны активного загрязнения равна:

$$S_{\text{ЗАЗ}} = S_{\text{внеш}} - S_{\text{внутр}}$$

Определить экономическую эффективность природоохранных мероприятий по формуле:

$$E = (\mathcal{E} - Z - C) / K \quad (4)$$

где  $C$  – дополнительные эксплуатационные расходы, тыс. р. /год;

$K$  – единовременные капиталовложения в очистное оборудование, тыс. р.;

$Z$  – приведенные затраты на строительство и внедрение очистного оборудования тыс. р.;

$\mathcal{E}$  – предотвращенный годовой экономический ущерб после проведения мероприятий по защите атмосферы, который определяется как разность между экономическим ущербом ( $Y_1$ ) до проведения мероприятий и экономическим ущербом ( $Y_2$ ) после их проведения:

$$\mathcal{E} = Y_1 - Y_2 \quad (5)$$

Затраты ( $Z$ ) на строительство и внедрение оборудования для мероприятий по защите атмосферы рассчитываются по формуле:

$$Z = C + E_n \cdot K \quad (6)$$

где  $E_n$  – нормативный коэффициент эффективности капитальных вложений; принимается равным 0,12.

Расчет годового экономического ущерба в результате загрязнения атмосферы ( $Y_1$ ) до проведения защитных мероприятий и ( $Y_2$ ) после проведения защитных мероприятий рассчитывается следующим образом:

$$Y_1 = \gamma \cdot f \cdot \sigma \cdot \mu_1 \quad (7)$$

$$Y_2 = \gamma \cdot f \cdot \sigma \cdot \mu_2, \quad (8)$$

где  $\gamma$  – величина удельного ущерба от одной условной тонны выбросов, тыс. р./усл. т ( $\gamma = 0,24$  тыс. р./усл. т);

$f$  – коэффициент, учитывающий характер и условия рассеивания выбросов от источника загрязнения;

$\sigma$  – коэффициент, учитывающий относительную опасность загрязнения атмосферного воздуха на территориях различного типа (Таблица 4);

$\mu_1, \mu_2$  – суммарная масса выбросов загрязняющих веществ, приведенная к единице токсичности, усл. т/год соответственно; ( $\mu_1$ ) до проведения защитных мероприятий и ( $\mu_2$ ) после проведения защитных мероприятий.

Значение коэффициента  $f$ , учитывающего характер и условия рассеивания выбросов, определяется следующим образом:

1. Для газообразных примесей и легких мелкодисперсных частиц со скоростью оседания ( $<1$  см/с) или при значении коэффициента очистки  $\geq 90\%$ :

$$f = \frac{100}{100 + \varphi \cdot H} \cdot \frac{4}{1 + U}, \quad (9)$$

2. Для частиц, оседающих со скоростью от 1 до 20 см/с или при значении коэффициента очистки более 70 % и менее 90 %,  $f$  рассчитывается по формуле:

$$f = \left( \frac{1000}{60 + \varphi \cdot H} \right)^{0,5} \cdot \frac{4}{1 + U}, \quad (10)$$

где  $H$  – высота источника загрязнения атмосферного воздуха, м;

$\varphi$  – поправка на тепловой подъем факела выбросов в атмосфере ( $\varphi$  рассчитывается по формуле 3);

$U$  – среднегодовое значение скорости ветра на уровне флюгера, м/с.

Суммарная масса выбросов загрязняющих веществ, приведенная к единой токсичности, ( $\mu_1$ ) до проведения защитных мероприятий и ( $\mu_2$ ) после проведения защитных мероприятий, определяется по формуле:

$$\mu_1 = \sum_{i=1}^N A_i \cdot m_i \quad (11)$$

$$\mu_2 = \sum_{i=1}^N A_i \cdot m_2, \quad (12)$$

где  $N$  – общее число примесей, содержащихся в выбросах источника;

$A_i$  – показатель относительной агрессивности  $i$ -го вещества, усл. т/т (Таблица 5);

$m_1, m_2$  – масса годового выброса примеси  $i$ -го вида в атмосферу, т/год (Таблица 6);  $m_1$  – до установки систем очистки,  $m_2$  – после установки систем очистки.

Сравнить рассчитанное значение общей экономической эффективности проведенных мероприятий по защите атмосферного воздуха  $E$  и нормативного коэффициента эффективности капитальных вложений  $E_n$  и сделать заключение об эффективности при  $E \geq E_n$  либо неэффективности  $E < E_n$  внедрения мероприятий по защите атмосферного воздуха.

Таблица 3 – Варианты заданий по определению эффективности мероприятий по защите атмосферного воздуха от загрязнения.

Варианты	Параметры						
	Высота источника $H$ , м	Температура в устье источника $t_1$ , °C	Скорость оседания загрязняющих веществ, см/с	Температура окружающей среды $t_2$ , °C	Скорость ветра на уровне флюгера $U$ , м/с	Капиталовложения в очистное оборудование, тыс р.	Дополнительные эксплуатационные расходы, тыс р./год
1	150	110	0,5	20	3	40	30
2	90	150	3	30	4	60	10
3	70	90	15	10	5	80	40
4	50	130	5	20	3	20	60
5	120	70	8	30	7	70	20
6	100	110	0,8	10	2	50	70
7	80	170	2	20	0,5	30	40
8	60	140	2,6	30	4	10	10
9	155	105	0,6	25	4	43	32
10	95	145	4	32	3	65	14
11	75	85	16	14	6	84	42
12	55	125	6	22	4	27	63
13	125	65	9	31	7	72	21
14	105	105	1,2	12	5	55	72
15	75	160	3	24	1,5	36	45
16	65	135	2,8	28	3	12	15
17	160	100	0,9	28	4	42	30
18	105	140	5	30	3	63	16
19	85	90	14	16	6	86	40
20	65	120	8	20	5	28	61

Таблица 4 – Значение показателя относительной опасности загрязнения атмосферного воздуха на территориях различного типа.

Варианты	Типы загрязненной территории	$\sigma$
1, 9, 17	Территории курортов, санаториев, заповедников	10
2, 10, 18	Территории природных зон отдыха, садовых и дачных участков	8
3, 11, 19	Центральная часть города	8
4, 12, 20	Территории промышленных предприятий	4
5, 13	Леса I группы (промышленное значение)	0,2
6, 14	Леса II группы (рекреационное значение)	0,1
7, 15	Пашни, прочие районы	0,1
8, 16	Сады, виноградники	0,5

Таблица 5 – Значения показателя относительной агрессивности загрязняющего вещества ( $A_i$ ).

№п/п	Загрязняющее вещество	$A_i$ усл т/т
1	Оксид углерода	1
2	Аммиак	4,64
3	Ацетон	22,2
4	Диоксид кремния	83,2
5	Диоксид азота	17,9
6	Диоксид серы	16,5
7	Асбест	33,8
8	Кобальт металлический и его оксиды	1730
9	Марганец и его оксиды	7,5
10	Метилмеркоптан	2890
11	Неорганические соединения ртути, свинца	22400
12	Никель и его оксиды	5475
13	Оксиды азота (по массе)	41,1
14	Оксиды алюминия	16,4
15	Оксид цинка	245
16	Сернистый газ	16,5
17	Сероводород	41,1
18	Фенол	170
19	Хлор	89,4
20	Цианистый водород	282
21	Древесная пыль, цемент	19,6

Таблица 6 – Влияние систем очистки на количество выбросов промышленного предприятия.

Варианты	Наименование загрязняющего вещества	Масса выброса, т/год	
		m <sub>1</sub> , до установки систем очистки	m <sub>2</sub> , после установки систем очистки
1, 9, 17	Аммиак	40	10
	Сернистый газ	30	10
	Диоксид серы	30	8
2, 10, 18	Оксид углерода	64	22
	Метилмеркоптан	18	3
	Оксид азота	60	21
3, 11, 19	Сероводород	21	9
	Диоксид кремния	32	8
	Никель	1	0,77
4, 12, 20	Оксид алюминия	44	12
	Цемент	128	45
	Диоксид серы	37	8
5, 13	Цианистый водород	4	1,5
	Диоксид кремния	14	3
	Сероводород	29	21
6, 14	Ацетон	65	21
	Диоксид серы	38	7
	Соединения свинца	0,6	0,33
7, 15	Фенол	24	9
	Оксид марганца	12	3
	Никель	1,3	0,77
8, 16	Оксид углерода	64	28
	Хлор	120	53
	Оксид цинка	60	21

#### Практическая работа 4. Определение необходимой степени очистки производственных сточных вод.

**Цель занятия:** изучить методы определения необходимой степени очистки производственных сточных вод.

**Форма занятия:** практическая работа (2 часа).

**Материалы и оборудование:** рабочая тетрадь, компьютер, калькулятор, карандаши, ручка.

**Задание и методические указания по его выполнению:**

Выполнить расчеты по определению необходимой степени очистки производственных сточных вод от вредных веществ. Результаты оформить в виде отчета, сделать выводы об особенностях санитарных условий сброса сточных вод.

Все вещества, содержащиеся в сточной воде, относятся к определенному лимитирующему показателю вредности (ЛПВ). ЛПВ – показатель,

характеризующийся наибольшей безвредной концентрацией загрязняющего вещества в воде. Он позволяет определить наиболее ранний и вероятный характер неблагоприятного влияния в случае появления в воде химического вещества в концентрации, превышающей ПДК.

Для воды хозяйственно-питьевого назначения выделяются три типа ЛПВ – санитарно-токсикологический, общесанитарный и органолептический. Санитарно-токсикологический подразумевает концентрацию, при превышении которой вещество становится токсичным для человека. Общесанитарный свидетельствует о нарушении санитарного состояния водного объекта. Органолептический обозначает концентрацию, при превышении которой вода меняет вкусовые качества, цвет, запах, а также характеризуется образованием пены или плёнки.

Показатель необходимой степени очистки производственных сточных вод от вредных веществ определяется по выражению:

$$\mathcal{E}_z = \left[ 1 - \frac{1 - \frac{n-1}{n} \times \sum \frac{C_B^z}{C_{\text{ПДК}}^z}}{\frac{1}{n} \times \sum \frac{C_{\text{СТ}}^z}{C_{\text{ПДК}}^z}} \right] \times 100 ,$$

где  $\mathcal{E}_z$  – показатель необходимой степени очистки производственных сточных вод, %;

$C_B^z$  – показатель содержания вредного вещества в воде до места сброса производственных сточных вод, мг/л;

$C_{\text{СТ}}^z$  – показатель содержания вредного вещества в производственных сточных водах, мг/л;

$n$  – кратность разбавления производственных сточных вод.

К группе санитарно-токсикологических ЛПВ относятся: никель, молибден и мышьяк.

Производственные сточные воды, содержащие эти загрязняющие вещества (Таблица 7), подлежат сбросу в водоток, который относится к источникам хозяйственно-питьевого водопользования.

ПДК указанных загрязняющих веществ:

$$C_{\text{ПДК}}^{\text{Ni}} = 0,01 \text{ мг/л}; C_{\text{ПДК}}^{\text{Mo}} = 0,25 \text{ мг/л}; C_{\text{ПДК}}^{\text{As}} = 0,05 \text{ мг/л};$$

Вода до места сброса промышленных сточных вод характеризуется показателями, представленными в таблице.

Кратность разбавления производственных сточных вод  $n = 65$ .

Таблица 7 – Характеристики природных и сточных вод.

Варианты	Содержание вещества в природной воде, $C_B$ , мг/л			Содержание вещества в сточной воде, $C_{\text{СТ}}$ , мг/л		
	Ni	Mo	As	Ni	Mo	As
1	0,001	0,08	0,003	0,2	4,05	0,9
2	0,002	0,06	0,005	0,3	4,01	1,0
3	0,003	0,05	0,005	0,2	4,15	1,15

Продолжение таблицы 7.

4	0,003	0,07	0,004	0,4	4,15	1,0
5	0,001	0,08	0,003	0,1	5,05	1,3
6	0,002	0,04	0,004	0,2	4,2	1,25
7	0,002	0,06	0,003	0,3	4,3	1,05
8	0,003	0,05	0,004	0,1	5,4	1,35
9	0,002	0,08	0,005	0,2	4,01	0,9
10	0,003	0,07	0,003	0,1	5,15	1,2
11	0,003	0,04	0,006	0,4	4,42	1,2
12	0,002	0,05	0,003	0,2	4,5	1,3
13	0,003	0,06	0,004	0,3	4,31	0,9
14	0,002	0,05	0,005	0,3	4,2	0,8
15	0,003	0,03	0,006	0,2	4,2	1,15
16	0,001	0,07	0,007	0,2	4,25	1,2
17	0,002	0,06	0,004	0,3	4,35	0,95
18	0,003	0,05	0,003	0,3	4,3	1,15
19	0,002	0,07	0,005	0,4	4,4	1,0
20	0,003	0,04	0,006	0,3	4,5	0,9

### Практическая работа 5. Определение уровня транспортного шума.

**Цель занятия:** определения уровня транспортного шума с помощью номографического метода.

**Форма занятия:** практическая работа (2 часа).

**Материалы и оборудование:** рабочая тетрадь, компьютер, калькулятор, карандаши, ручка.

**Задание и методические указания по его выполнению:**

Выполнить расчеты по определению уровня транспортного шума (Таблица 8). Результаты оформить в виде отчета, сделать выводы об особенностях изменения уровня транспортного шума.

В зависимости от происхождения различают промышленные, транспортные и жилищно-бытовые шумы. В городе основным источником шума является транспорт: автомобильный, рельсовый, воздушный. В общем шумовом фоне города, удельный вес транспортного шума составляет не менее 60-80 %. В среднем в настоящее время 30-40 % городского населения работают и проживают в условиях акустического дискомфорта.

Задача определения уровня транспортного шума решается с помощью номографического метода, позволяющего прогнозировать его уровень.

Номограмма (Рисунок) состоит из набора калибровочных шкал, включающих показатели средневзвешенной скорости потока транспорта  $v$ , суммарного процента грузового и общественного транспорта  $p$ , интенсивности движения транспорта в натуральных единицах  $N_1, N_2$ , уровня фонового шума на рассматриваемой территории  $L_{фон}$ .

Прогнозируемый уровень шума  $L_{пр}$  определяется путем алгебраического сложения трех слагаемых  $\Delta L_1, \Delta L_2, \Delta L_3$ , определяемых по номограмме.

*Пример расчета.* Определить уровень транспортного шума при следующих исходных данных:

- интенсивность движения транспорта в двух направлениях на автомагистрали, проходящей через проектируемый район, составляет 200 ед./час в час пик;
- средневзвешенная скорость потока транспорта составляет 30 км/ч;
- процент грузового и общественного транспорта 10 %;
- уровень фонового шума для рассматриваемого района города составляет 45 дБА.

Ориентировочный уровень транспортного шума определяется с помощью номограммы следующим образом.

1. Исходную точку расчета соединяем прямой линией с показателем 30 (средневзвешенная скорость потока транспорта) шкалы  $v$ . На шкале  $\Delta L_1$  получаем показатель 2,5 дБА.

2. Соединяем показатель 30 на шкале  $v$  с показателем 10 (процент грузового и общественного транспорта) на шкале  $p$  и фиксируем точку пересечения  $A_1$  на шкале  $A$ .

3. Соединяем точку  $A_1$  с заданной интенсивностью движения транспорта 200 на шкале  $N_1$ . На пересечении этой линии со шкалой  $\Delta L_2$  получаем показатель 57 дБА.

4. Показатель 200 (интенсивность движения транспорта) на шкале  $N_2$  соединяем с показателем 45 (уровень фонового шума) на шкале  $L_{фон}$  и на пересечении этой линии со шкалой  $\Delta L_3$  получаем показатель 4,5 дБА.

Прогнозируемый уровень шума составит:

$$L_{пр} = \Delta L_1 + \Delta L_2 + \Delta L_3 = 2,5 + 57 + 4,5 = 64 \text{ дБА.}$$

Таблица 8 – Варианты заданий по определению уровня транспортного шума.

Варианты	Интенсивность движения транспорта в двух направлениях (ед./час)	Средневзвешенная скорость потока транспорта (км/час)	Процент грузового и общественного транспорта (%)	Уровень фонового шума (дБА)
1	20	20	5	40
2	30	40	5	45
3	40	40	10	44
4	60	50	5	48
5	60	50	20	50
6	80	60	5	52
7	80	60	10	50

Продолжение таблицы 8.

8	100	60	15	55
9	100	60	20	56
10	200	60	40	57
11	200	70	5	58
12	300	70	10	59
13	300	70	20	60
14	400	70	40	61
15	400	80	5	62
16	400	80	40	40
17	600	80	60	50
18	600	80	80	44
19	800	80	100	60
20	800	90	5	45

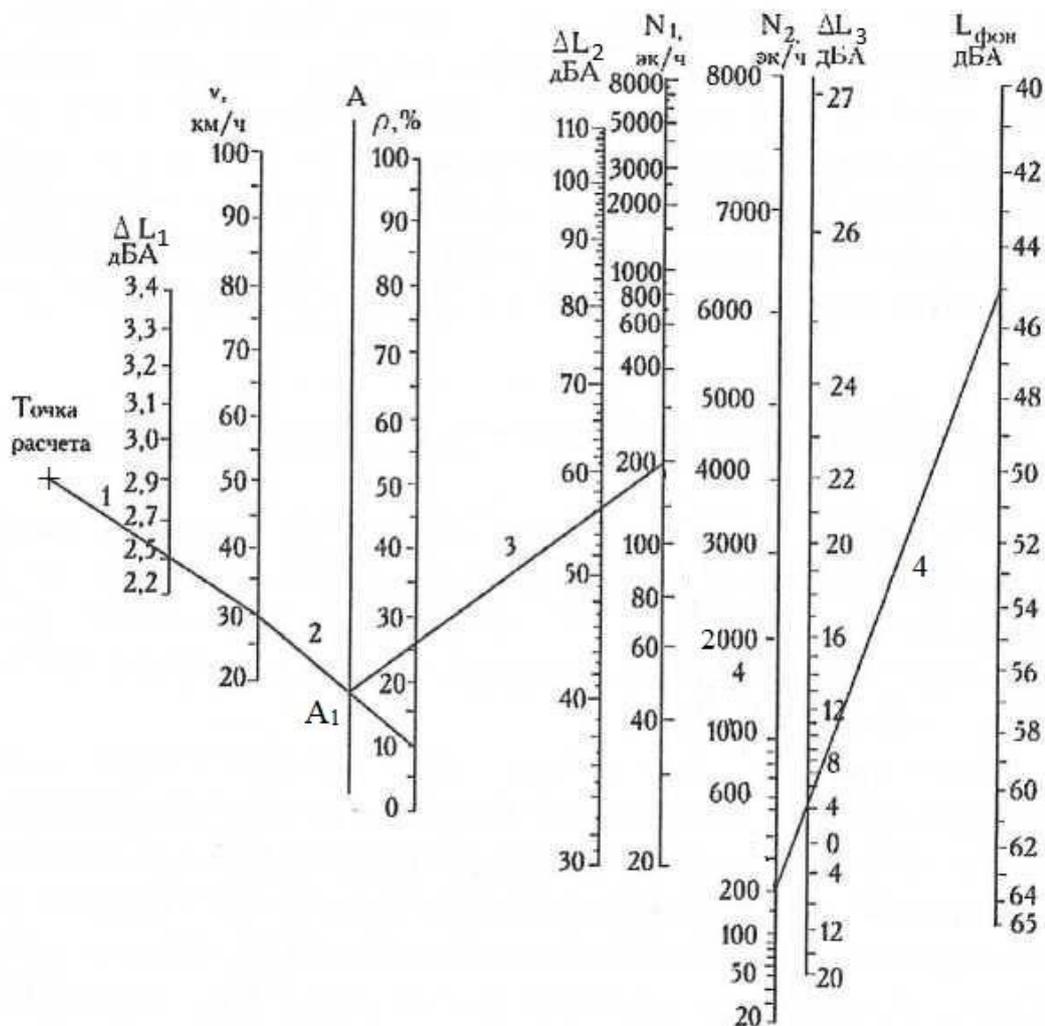


Рисунок 1 – Номограмма для определения ориентировочных уровней звука транспортного шума.

**Практическая работа 6. Влияние экологических факторов окружающей среды на жизнедеятельность живых организмов.**

**Цель занятия:** изучить особенности адаптаций живых организмов к действию экологических факторов окружающей среды.

**Форма занятия:** практическая работа (2 часа).

**Материалы и оборудование:** рабочая тетрадь, компьютер, калькулятор, карандаши, ручка.

**Задание и методические указания по его выполнению:**

Оценить степень влияния экологических факторов (абиотических, биотических и антропогенных) окружающей среды на выработку адаптаций у живых организмов. Результаты оформить в форме таблицы (Таблица 9). Сделать выводы об особенностях адаптации живых организмов к экологическим факторам окружающей среды.

Таблица 9 – Типы адаптации живых организмов к экологическим факторам окружающей среды.

Виды живых организмов	Типы адаптаций живых организмов			
	Биохимические	Физиологические	Морфо-анатомические	Поведенческие
<b>Абиотические факторы</b>				
<b>Биотические факторы</b>				
<b>Антропогенные факторы</b>				

## Практическая работа 7. Материальные потоки веществ в лесных экосистемах.

**Цель занятия:** определите потребление  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$  и выделение  $\text{O}_2$  разными породами деревьев при создании годового прироста древесины.

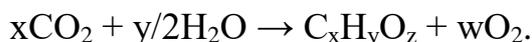
**Форма занятия:** практическая работа (2 часа).

**Материалы и оборудование:** рабочая тетрадь, компьютер, калькулятор, карандаши, ручка.

**Задание и методические указания по его выполнению:**

Выполнить расчеты по определению потребления  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$  и выделение  $\text{O}_2$  разными породами деревьев при создании годового прироста древесины. Данные для расчетов приведены в Таблицах 10, 11. Атомная масса: углерода – 12, водорода – 1, кислорода – 16. Результаты оформить в виде отчета, сделать выводы об особенностях производительности лесообразующих пород по выделению  $\text{O}_2$  с учетом их возраста.

Леса – составная и очень важная часть биосферы. Это крупнейший накопитель солнечной энергии и биологической массы, один из источников кислорода на Земле. Благодаря процессу фотосинтеза осуществляется одна из важнейших функций лесов – газовая, в результате чего из атмосферы выводится углекислый газ и поступает кислород. Уравнение фотосинтеза, описывающее процесс создания вещества древесины, можно представить в общем виде:



Число атомов С, Н и О ( $x$ ,  $y$ ,  $z$ ), входящих в состав древесины, зависит от породы деревьев. Элементный состав древесины (значения  $x$ ,  $y$ ,  $z$ ) рассчитывается исходя из процентного соотношения С, Н и О (Таблица 10) по формулам:

$$x = \frac{C}{A_1}, \quad y = \frac{H}{A_2}, \quad z = \frac{O}{A_3},$$

где С, Н, О – содержание углерода, водорода и кислорода в соответствующей породе древесины, %;  $A_1$ ,  $A_2$ ,  $A_3$  – атомные массы углерода, водорода и кислорода.

Годовой прирост древесины на площади леса в 1 га ( $\text{м}^3/\text{га} \times \text{год}$ ) зависит от породы, возраста и бонитета древостоя (Таблица 11).

Коэффициент  $w$  определяется через  $x$ ,  $y$ ,  $z$  из баланса числа атомов кислорода в уравнении фотосинтеза:

$$2x + y/2 = z + 2w,$$

следовательно,

$$w = x + y/4 - z/2.$$

При расчетах по уравнению фотосинтеза необходимо знать биомассу создаваемой древесины в абсолютно сухом весе. Пересчет объемов древесины на абсолютно сухой вес производится по формуле:

$$M_{\text{древ. год}} = PV,$$

где  $M_{\text{древ. год}}$  – масса абсолютно сухой древесины, кг;  $P$  – плотность древесины абсолютно сухого веса, кг/м<sup>3</sup>,  $V$  – годовой прирост древесины, м<sup>3</sup>/га

Если известна биомасса образованной в лесу древесины ( $M_{\text{древ}}$ ) то можно определить количество поглощенных при этом углекислого газа и воды, а так же выделившегося кислорода:

$$M_{\text{CO}_2} = (x/100) \times (\text{молекулярная масса CO}_2) M_{\text{древ. год}};$$

$$M_{\text{H}_2\text{O}} = (y/2 \times 100) \times (\text{молекулярная масса H}_2\text{O}) M_{\text{древ. год}};$$

$$M_{\text{O}_2} = (w/100) \times (\text{молекулярная масса O}_2) M_{\text{древ. год}}.$$

Таблица 10 – Химический состав (% абсолютно сухого веса) и плотность древесины (кг/м<sup>3</sup>).

Варианты	Древесная порода	С, %	Н, %	О, %	Зольные элементы	Плотность древесины, P, кг/м <sup>3</sup>
1	Береза	50,2	6,2	43,0	0,6	600
2	Бук	50,4	6,2	42,3	1,1	680
3	Дуб	50,5	6,3	42,3	0,9	650
4	Ель	50,5	6,2	42,8	0,5	430
5	Кедр	49,8	6,3	43,5	0,4	440
6	Лиственница	50,1	6,3	43,2	0,4	570
7	Осина	50,3	6,3	42,6	0,8	410
8	Пихта	50,4	6,0	43,1	0,5	410
9	Сосна	49,6	6,4	43,6	0,4	490

Таблица 11 – Годовой прирост в древостоях основных лесообразующих пород (м<sup>3</sup>/га).

Древесная порода	Возраст деревьев, лет				
	15	35	55	75	100
	Годовой прирост V, м <sup>3</sup> /га				
Береза	11,4	11,4	9,0	5,5	1,8
Бук	11,6	12,1	9,4	6,1	4,3
Дуб	11,8	12,2	9,6	6,3	4,8
Ель	7,6	11,1	11,6	10,7	6,9
Кедр	7,8	10,7	10,9	9,3	5,6
Лиственница	7,7	9,8	9,5	7,9	4,5
Осина	10,9	10,5	8,3	5,9	4,0
Пихта	7,6	8,5	7,3	5,0	3,9
Сосна	8,2	10,7	9,6	7,8	4,2

## Практическая работа 8. Влияние экологических факторов окружающей среды на жизнедеятельность живых организмов.

**Цель занятия:** определения особенностей функционирования растительных сообществ при антропогенном воздействии.

**Форма занятия:** практическая работа. (ДОТ 2 часа).

**Материалы и оборудование:** рабочая тетрадь, компьютер, калькулятор, карандаши, ручка.

**Задание и методические указания по его выполнению:**

Выполнить анализ данных, приведенных в таблицах и ответить на поставленные вопросы. Результаты оформить в виде отчета, сделать выводы об особенностях функционирования растительных сообществ при антропогенном воздействии.

Задание 1. Проанализируйте данные Таблицы 12 и сделайте вывод о состоянии растительности. Что такое проективное покрытие? Что обозначают цифры I-IV?

Задание 2. Используя данные Таблицы 12, объясните, учитывая экологию вида и сообщества, почему на лугах первой группы, расположенных на южных склонах балок и на пойменных лугах высокого уровня, имеются полные синантропы, а в подобной группе на северных склонах и на пойменных лугах среднего уровня их нет.

Таблица 12 – Процесс синантропизации растительности, % проективного покрытия.

Виды растений	Остепненные луга на южных склонах балок				Остепненные луга на северных склонах балок			
	I	II	III	IV	I	II	III	IV
Гемерофобы	42,3	10,5	2,5	–	10,5	8,0	2,5	–
Синантропы:								
условные	10,5	39,5	47,5	–	87,0	79,0	42,3	–
частичные	44,7	39,5	10,5	–	2,5	10,5	44,2	–
полные	2,5	10,5	39,5	100,0	–	2,5	11,0	100,0
Виды растений	Пойменные луга высокого уровня				Пойменные луга среднего уровня			
	I	II	III	IV	I	II	III	IV
Гемерофобы	10,5	8,0	2,5	–	48,8	10,5	–	–
Синантропы:								
условные	71,0	44,8	76,5	–	48,7	38,8	2,5	–
частичные	10,5	44,7	10,5	–	2,5	37,7	47,7	–
полные	8,0	2,5	10,5	100,0	–	13,0	50,0	100,0

Задание 3. Проанализируйте данные Таблицы 13. Как влияет различная антропогенная деятельность на соотношение экологических групп растений? Предложите практические рекомендации по сохранению степных пастбищных и сенокосных экосистем.

Таблица 13 – Структура растительного покрова и объем фитомассы в степных пастбищных и сенокосных экосистемах.

Показатель	Заповедная степь	Пастбища		Сенокосы
		Умеренного выпаса скота	Интенсивного выпаса скота	
Суммарная фитомасса, т/га сухого вещества	18,2	13,6	15,6	12,3
Видовая насыщенность фитоценоза, число видов на 1 м <sup>2</sup>	24	36	28	60
Зеленная масса, т/га сухого вещества	2,5	1,5	1,0	1,8
Корни, т/га сухого вещества	10,6	10,8	13,7	9,3
Подстилка, т/га сухого вещества	5,1	1,3	0,9	1,2

### **Практическая работа 9. Экологические задачи по сохранению биологического разнообразия**

**Цель занятия:** Развитие навыков экологического мышления, закрепление и совершенствования знаний по экологии отдельных групп организмов.

**Форма занятия:** практическая работа. (ДОТ 2 часа).

**Материалы и оборудование:** рабочая тетрадь, компьютер, калькулятор, карандаши, ручка.

**Задание и методические указания по его выполнению:**

Изучить материалы заданий и ответить на поставленные в них вопросы. Сделать выводы об особенностях методических подходов при разработке мероприятий по сохранению биологического разнообразия.

Задание 1. Работникам экологического ведомства необходимо было обеспечить сохранность популяции редких орхидных, произрастающих на пастбище в километре от деревни. Они объявили эту территорию памятником природы. Поставили плакаты и на них указали, что охраняются очень редкие растения, нарисовав их.

Другая группа экологов провели серию бесед с местным населением о необходимости охраны редких растений. Объявили пастбище памятником природы и сообщили об этом местной администрации и в соответствующие организации административного района. Местное население конкретно не информировали.

Одна из популяций скоро была уничтожена, другая нет. В каком случае популяция сохранилась? В чем ошибка экологов, которые не сумели сохранить растения? На какие цели были выделены деньги и как сформулировано решение экологов, которые обеспечили сохранение популяции?

Задание 2. В одном из заповедников среди его работников существует два мнения. Одни считают, что следует полностью запретить выпас домашнего

скота на территории заповедника, несмотря на то что скотоводство – традиционный способ природопользования местного населения, причем скот содержится на вольном выпасе. Другие считают: выпас скота – необходимый атрибут охраны биологического разнообразия в заповеднике. Первые считают, что вторые защищают интересы местного населения и свои собственные (так как они тоже держат скот), а не интересы науки, и их действия приводят к нарушению режима заповедника. Какая группа специалистов права? Что бы вы порекомендовали дирекции заповедника: а) принять меры для предотвращения роста поголовья скота и ограничить площади сенокосов; б) принять меры для предотвращения роста поголовья скота, сохранить площади сенокосных угодий и выйти с предложением к экологическому фонду для покрытия убытков населения; в) другие меры? В конечном итоге директор обратился с предложением в экологический фонд для выделения средств на проведение работ по лимитированию выпаса. Он предложил оградить часть угодий, лимитировать сенокосы и пастбища и установить прогрессивный налог на выпас скота. Экологический фонд не поддержал предложение. Выделил деньги и обязал директора проводить другие мероприятия. Какие? На какие цели были выделены деньги?

Задание 3. В одном из заповедников, который был создан в целях сохранения сложившегося биологического разнообразия, некоторые специалисты настаивали прекратить сенокосы на лесных лугах. Дирекция заповедника была против. Кто прав? Ответ обоснуйте.

Задание 4. На территории охотничьего хозяйства стала резко снижаться численность куропаток. Что бы вы рекомендовали охотоведу?

Задание 5. В целях увеличения поголовья зайцев охотоведы настояли на полном прекращении выпаса овец и коз в овражных биоценозах, согласились на лимитированный выпас крупнорогатого скота и не возражали против кошения. Объясните их действия.

Задание 6. На краю деревни в пойме реки есть небольшое озеро, на котором постоянно выпасают стада гусей. Как вы думаете, что произойдет, если прекратить выпас гусей?

Задание 7. Объясните каким образом бобр способствует увеличению биоразнообразия на территории своего обитания?

Задание 8. Зависит ли численность шмелей на лугах от численности мышевидных грызунов? Ответ обоснуйте.

Задание 9. В январе экологам поручили проверить состояние работы лесничества по охраны видового разнообразия в заповедных лесах. Стояли сильные морозы. Первый из специалистов все время провел в лесу и только иногда появлялся в поселке. Второй много времени провел на местном рынке, в поселке, в бухгалтерии, в кабинете лесничего и совсем редко посещал лес. Какой из экологов подготовил более полный отчет? Какой из них имеет более высокую квалификацию? Ответ обоснуйте.

Задание 10. Вам необходимо организовать экскурсии по национальному парку. Какие ограничения вы введете для туристов?

## 2.2. Вопросы к семинарским занятиям

### **Семинарское занятие № 1. Влияние деятельности человека на биосферу.**

**Цель занятия:** изучить основные формы воздействия хозяйственной деятельности человека на биосферу и проанализировать современные экологические проблемы биосферы.

**Форма занятия:** семинар (2 часа).

**Задание и методические указания по его выполнению:**

Подготовка презентаций об основных формах воздействия хозяйственной деятельности человека на биосферу, современных экологических проблемах биосферы и их групповое обсуждение.

**Вопросы для обсуждения:**

1. Место человека в биосфере. Развитие концепции В.И. Вернадского о ноосфере.
2. Козволюционное развитие человеческого общества и биосферы.
3. Технологические формы воздействия на биосферу.
4. Экологические проблемы биосферы и их характеристика.

### **Семинарское занятие № 2. Адаптации живых организмов к факторам окружающей среды.**

**Цель занятия:** изучить особенности адаптаций живых организмов к действию факторов окружающей среды.

**Форма занятия:** семинар (2 часа).

**Задание и методические указания по его выполнению:**

Подготовка презентаций об особенностях адаптаций живых организмов к действию факторов окружающей среды и их групповое обсуждение.

**Вопросы для обсуждения:**

1. Понятие о среде обитания и факторах окружающей среды.
2. Типы адаптаций. Основные механизмы адаптаций на уровне живого организма.
3. Закономерности действия факторов на живой организм. Закон толерантности В. Шелфорда.
4. Взаимодействие факторов окружающей среды. Понятие лимитирующего фактора.

### **Семинарское занятие № 3. Популяция как биологическая система.**

**Цель занятия:** изучить особенности популяции как биологической системы.

**Форма занятия:** семинар (2 часа).

**Задание и методические указания по его выполнению:**

Подготовка презентаций об особенностях популяции как биологической системы и их групповое обсуждение.

**Вопросы для обсуждения:**

1. Популяционная структура вида. Критерии вида и их характеристика.

2. Ареал вида. Понятие об эндемиках и космополитах.
3. Понятие о популяции. Популяция как биологическая система.
4. Признаки популяции. Характеристика свойств популяции
5. Структура популяции. Характеристика пространственной, половой, возрастной и этологической структур популяции.
6. Типы динамики численности популяций. Экологические стратегии. Динамика ценопопуляций.

#### **Семинарское занятие № 4. Структура биогеоценоза и динамика экосистем.**

**Цель занятия:** изучить составляющие компоненты, пространственную и трофическую структуры биоценоза, проанализировать связи популяций в биоценозах, рассмотреть взаимосвязь понятий экосистема и биогеоценоз, привести примеры межвидовых отношений в биоценозе, дать характеристику экологической ниши вида.

**Форма занятия:** семинар (2 часа).

**Задание и методические указания по его выполнению:**

Подготовка презентаций о компонентах, пространственной и трофической структуре биоценоза, связях популяций в биоценозах, межвидовых отношениях в биоценозе, экологических нишах видов и их групповое обсуждение.

**Вопросы для обсуждения:**

1. Общие понятия о биоценозе. Структура биогеоценоза.
2. Понятие об экосистеме. Структура экосистем.
3. Пространственная и трофическая структура биоценозов. Трофические цепи и сети питания. Детритные цепи питания.
4. Экологические пирамиды. Понятие о биомассе и продукции экосистем.
5. Межвидовые отношения в биоценозе. Взаимоотношения видов смежных трофических уровней.
6. Экологическая ниша. Фундаментальная и реализованная экологические ниши.

#### **2.3. Методические рекомендации по организации самостоятельной работы обучающихся**

Для организации самостоятельной работы студентов использованы современные информационные технологии: размещены в сетевом доступе учебные и учебно-методические материалы (презентации лекций, учебная программа, тематика и методические указания по выполнению практических работ, примерный перечень вопросов к экзамену, список рекомендуемой литературы, позволяющие определить соответствие учебной деятельности обучающихся требованиям образовательных стандартов высшего образования и учебно-программной документации.

Самостоятельная работа (практические работы) студентов по изучению дисциплины «Общая экология» выполняется в аудиторной форме, а также с использованием дистанционного обучения. Студентам предлагается

самостоятельное рассмотрение ряда вопросов, что предполагает углубленное изучение основной и дополнительной литературы.

При организации образовательного процесса по изучению дисциплины рекомендуется использовать практико-ориентированный подход, методы: анализа конкретных ситуаций, учебной дискуссии, проектного обучения, развития критического мышления.

*Практико-ориентированный подход* предполагает: освоение студентами содержания образования через решения практических задач; приобретение навыков эффективного выполнения разных видов профессиональной деятельности; ориентацию на генерирование идей, реализацию групповых студенческих проектов, развитие предпринимательской культуры; использованию процедур, способов оценивания, фиксирующих сформированность профессиональных компетенций. Рекомендуется при изучении тем практических занятий.

*Метод анализа конкретных ситуаций* предполагает: приобретение студентом знаний и умений для решения практических задач; анализ ситуации, используя профессиональные знания, собственный опыт, дополнительную литературу и иные источники. Рекомендуется при изучении тем практических занятий.

*Метод учебной дискуссии* предполагает: участие студентов в целенаправленном обмене мнениями, идеями для предъявления и согласования существующих позиций по определенной проблеме. Использование метода рекомендуется при изучении современных экологических проблем и возможных вариантов их решений. Рекомендуется при проведении семинарских занятий.

*Метод проектного обучения* предполагает: развитие у студентов актуальных для учебной и профессиональной деятельности навыков планирования, самоорганизации, сотрудничества и создание собственного продукта. Рекомендуется использовать метод проектного обучения (индивидуально или в небольшой группе) по экологической тематике с использованием ресурсов интернета. Преподаватель в процессе выполнения проектов осуществляет консультационную функцию, оценивает выступления студентов с их презентациями. Рекомендуется при изучении тем практических занятий.

*Метод развития критического мышления* предполагает: формирование у студентов навыков работы с информацией по темам изучаемой дисциплины. Студенту в процессе изучения информации необходимо осуществлять её отбор, анализ содержания, проводить сравнения и выявлять отличительные особенности, формулировать выводы, исследовать альтернативы. Рекомендуется применять для практических работ по разработке и созданию информационных и презентационных материалов, пространственно-временном анализе различных аспектов экологических проблем на глобальном, региональном и локальном уровне. Рекомендуется при изучении тем практических занятий.

### 3. РАЗДЕЛ КОНТРОЛЯ ЗНАНИЙ

#### Примерный перечень вопросов к экзамену

1. Объект и предмет изучения экологии. История развития экологии.
2. Основные методы экологических исследований.
3. Понятие о биосфере. Границы биосферы. Функциональные связи в биосфере.
4. Средообразующая роль живого вещества как важнейшего компонента биосферы. Разнокачественность форм жизни в биосфере.
5. Характеристика основных сред обитания живых организмов.
6. Круговорот веществ и энергии в биосфере.
7. Биогеохимические функции разных групп организмов, их специфика и различия.
8. Роль различных царств живых существ в трансформации вещества.
9. Место и роль человека в биосфере.
10. Техногенные формы воздействия человека на биосферу.
11. Экологические проблемы биосферы.
12. Влияние температуры на жизненные процессы организмов.
13. Особенности температурных адаптаций пойкилотермных организмов и гомойотермных организмов.
14. Специфика водно-солевого обмена у водных и наземных организмов.
15. Особенности газообмена организмов в водной и воздушной среде.
16. Экологическое значение света для организмов.
17. Комплексное воздействие факторов среды на организм.
18. Циркадные биологические ритмы: их механизм и общая характеристика.
19. Правило оптимума, его биологический смысл и роль в формировании экологической ниши.
20. Правило минимума, его значение в образовании ареалов.
21. Роль двух уровней адаптации в стратегии выживания вида.
22. Популяция как биологическая система. Популяционная структура вида.
23. Типы пространственного распределения особей в популяции.
24. Интеграция особей в популяции, ее особенности и биологическое значение.
25. Значение разнокачественности внутривидовых структур для устойчивого функционирования популяции.
26. Принципы популяционного гомеостаза популяций.
27. Особенности регуляции плотности населения в популяции.
28. Возрастная и половая структура популяции.
29. Общая характеристика основных типов динамики численности популяции.
30. Экологические стратегии: специфика их проявления в конкретных условиях среды.
31. Основные факторы динамики численности популяции.
32. Биологические особенности динамики ценопопуляций.
33. Понятие о биоценозе. Трофическая структура биоценозов.

34. Видовая структура биоценоза.
35. Механизмы и специфика формирования трофических цепей и сетей питания.
36. Значение пространственной структуры биоценозов для повышения биологического разнообразия.
37. Экологические ниши, механизмы их образования.
38. Межвидовые отношения в биоценозах. Специфика взаимоотношения растений и животных.
39. Особенности взаимоотношений хищник – жертва и паразит – хозяин.
40. Роль конкуренции в поддержании оптимальной плотности видов в биоценозе.
41. Мутуализм, аменсализм, комменсализм как специфические формы взаимодействия организмов в биоценозе.
42. Динамика экосистем: особенности суточных и сезонных изменений в биоценозах.
43. Механизм формирования первичных и вторичных экологических сукцессий.
44. Вековые смены экосистем. Поддержание гомеостаза на уровне экосистем.
45. Проблемы создания аквакультур.
46. Синантропизация флоры и фауны.
47. Формирование и функционирование агроэкосистем. Особенности антропоэкосистем.
48. Мониторинг окружающей среды. Проблема сохранения биологического разнообразия.
49. Экологизация производства.
50. Экологическое образование и воспитание.

## 4. ВСПОМОГАТЕЛЬНЫЙ РАЗДЕЛ

### 4.1. Рекомендуемая литература

#### Основная

1. Васюкова, А. Т. Экология: учебник для вузов / А. Т. Васюкова, А. А. Славянский, А. И. Ярошева. – 2-е изд., стер. – Санкт-Петербург: Лань, 2025. – 180 с.
2. Маврищев, В. В. Экология: учебник для студентов учреждений высшего образования по специальностям «Биология и география», «Биология и химия» / В. В. Маврищев. – Минск: Вышэйшая школа, 2022. – 524 с.
3. Прикладная экология: учебное пособие / М. П. Грушко [и др.]. – Изд. 4-е, стер. – Санкт-Петербург: Лань, 2023. – 264 с.
4. Сазонов, Э. В. Экология городской среды: учебное пособие для среднего профессионального образования / Э. В. Сазонов. – 3-е изд., перераб. и доп. – Москва: Издательство Юрайт, 2024. – 299 с.
5. Экология: учебник и практикум для вузов / под общей редакцией А. В. Тотая, А. В. Корсакова. – 5-е изд., перераб. и доп. – Москва: Издательство Юрайт, 2025. – 352 с.
6. Экология. Основы геоэкологии: учебник для вузов / А. Г. Милютин, Н. К. Андросова, И. С. Калинин, А. К. Порцевский. – Москва: Издательство Юрайт, 2025. – 437 с.
7. Экология и рациональное природопользование: учебное пособие / Д. Д. Бадюков, Т. А. Воробьева, А. Н. Геннадиев [и др.]; под ред. Е. И. Голубевой, А. А. Пакиной; Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова, Географический факультет. – Москва: Наука, 2022. – 599 с.

#### Дополнительная

8. Алиев, Р. А. Основы общей экологии и международной экологической политики: учебное пособие / Р. А. Алиев, А. А. Авроменко и др. – Москва: Аспект-Пресс, 2014. – 384 с.
9. Богданов, И. И. Геоэкология с основами биогеографии: учеб. пособие. 2-е изд. / И. И. Богданов. – Москва: Флинта, 2011. – 210 с.
10. Волкова, П. А. Основы общей экологии: учебное пособие / П. А. Волкова. – Москва: Форум, 2012. – 128 с.
11. Гальперин, М. В. Общая экология: учебник / М. В. Гальперин. – Москва: Форум, 2012. – 336 с.
12. Гордиенко, В. А. Экология. Базовый курс для студентов небробиологических специальностей: учебное пособие / В. А. Гордиенко, К. В. Показеев, М. В. Старкова. – 2-е изд., стер. – Санкт-Петербург: Лань, 2021. – 636 с.

13. Гричик, В. В. Экология и рациональное природопользование / В. В. Гричик, Л. В. Камлюк, Г. А. Семенюк / Под ред. В. В. Гричика. – Минск: БГУ, 2013. – 271 с.
14. Грушко, М. П. Прикладная экологии: учебное пособие / М. П. Грушко, Э. И. Мелякина, И. В. Волкова, В. Ф. Зайцев. – 4-е изд., стер. – Санкт-Петербург: Лань, 2023. – 268 с.
15. Грушко, М. П. Основы экологии и природопользования: учебное пособие / М. П. Грушко, Э. И. Мелякина, И. В. Волкова, В. Ф. Зайцев. – 3-е изд., стер. – Санкт-Петербург: Лань, 2023. – 268 с.
16. Ерофеева, В. В. Экология: учебное пособие / В. В. Ерофеева, В. В. Глебов, С. Л. Яблочников. – Саратов: Вузовское образование, 2020. – 148 с.
17. Коробкин, В. И. Экология в вопросах и ответах: учеб. пособие / В. И. Коробкин, Л. В. Передельский. – Ростов-на-Дону: Феникс, 2009. – 378 с.
18. Коробкин, В. И. Экология и охрана окружающей среды: учебник / В. И. Коробкин. – Москва: Кнорус, 2017. – 267 с.
19. Лемеза, Н. А. Экология растений: пособие / Н. А. Лемеза. – Минск: БГУ, 2018. – 158 с.
20. Маврищев, В. В. Экология: учебник / В. В. Маврищев. – Минск: Вышэйшая школа, 2020. – 523 с.
21. Орёл, Н. М. Биохимическая экология и мониторинг окружающей среды: пособие / Н. М. Орёл. – Минск: БГУ, 2019. – 148 с.
22. Павлова, Е. И. Общая экология: учебник и практикум для вузов / Е. И. Павлова, В. К. Новиков. – Москва: Издательство Юрайт, 2022. – 190 с.
23. Поломошнова Н.Ю., Экология: учебное пособие / Н. Ю. Поломошнова, Э. Г. Имескенова, М. Я. Бессмольская. – 3-е изд., стер. – Санкт-Петербург: Лань, 2023. – 128 с.
24. Пуртова, Е.А. Устойчивое развитие. Человек и биосфера: учебное пособие / Е. А. Пуртова, Г. А. Ягодин. – Москва: Бином, 2013. – 112 с.
25. Разумов, В. А. Экология: учебное пособие / В.А. Разумов. – Москва: ИНФРА-М, 2022. – 296 с.
26. Стратегия устойчивого развития Беларуси: экологический аспект / Е. А. Антипова, В. М. Яцухно [и др.]; – Мн.: 2014. – 336 с.
27. Челноков, А. А. Общая и прикладная экология: учебник / А. А. Челноков, К. Ф. Саевич, Л. Ф. Ющенко. – Минск: Вышэйшая школа, 2014. – 654 с.
28. Шарп, С. Основы экологии микроорганизмов: учебное пособие / С. Шарп. – Санкт-Петербург: Лань, 2013. – 240 с.
29. Шилов, И. А. Экология: учебник для вузов / И. А. Шилов. – 7-е изд. – Москва: Издательство Юрайт, 2022. – 539 с.
30. Экологическая политика Республики Беларусь и экологические риски / Под ред. А. Н. Витченко. – Минск: Изд. центр БГУ, 2011. – 110 с.

## 4.2. Электронные ресурсы

1. Всероссийский экологический портал [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://ecportal.su/>. – Дата доступа: 16.04.2025.
2. Главный информационно-аналитический центр Национальной системы мониторинга окружающей среды в Республике Беларусь [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.nsmos.by/>. – Дата доступа: 16.04.2025.
3. Интернет-ресурсы по экологии [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://lib-str.ru/putevoditel-po-saytam/internet-resursy-po-ekologii/>. – Дата доступа: 16.04.2025.
4. Официальный сайт Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.minpriroda.gov.by/ru/>. – Дата доступа: 16.04.2025.
5. Популярная энциклопедия [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.biodat.ru/db/fen/anim.htm>. – Дата доступа: 16.04.2025.
6. Природа России [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://priroda.ru/>. – Дата доступа: 16.04.2025.
7. Республиканское научно-исследовательское унитарное предприятие «Бел НИЦ «Экология» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.ecoinfo.by/>. – Дата доступа: 16.04.2025.
8. Экологический информационный центр «Эко-Инфо» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://ecoinfo.bas-net.by/>. – Дата доступа: 16.04.2025.

### 4.3. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКАЯ КАРТА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ «ОБЩАЯ ЭКОЛОГИЯ»

Дневная форма получения образования с применением электронных средств обучения (ДОТ)

Номер раздела, темы	Название раздела, темы	Количество аудиторных часов			Количество часов УСР	Форма контроля знаний
		Лекции	Практические занятия	Семинарские занятия		
1	2	3	4	5	6	7
<b>1</b>	<b>Биосфера.</b>	<b>10</b>	<b>10</b>	<b>2</b>		
1.1	Введение. История развития экологии. Основные методы экологических исследований.	2				Устный опрос.
1.2	Среды жизни в биосфере и их характеристика.	2				Устный опрос.
1.2.1	Влияние среды обитания на живые организмы.		2			Письменный отчет по практической работе.
1.3	Живое вещество биосферы.	2				Устный опрос.
1.4	Круговорот веществ и энергии как основа функционирования биосферы.	2				Устный опрос.
1.5	Влияние деятельности человека на биосферу.	2		2		Устный опрос. Выступления с докладами. Учебная дискуссия.
1.5.1	Определение объема угарного газа от сгорания топлива.		2			Письменный отчет по практической работе.

1.5.2	Определение эффективности мероприятий по защите атмосферного воздуха от загрязнения.		2			Письменный отчет по практической работе.
1.5.3	Определение степени очистки производственных сточных вод.		2			Письменный отчет по практической работе.
1.5.4	Определение уровня транспортного шума.		2			Письменный отчет по практической работе.
<b>2.</b>	<b>Организм и факторы окружающей среды.</b>	<b>10</b>	<b>2</b>	<b>2</b>		
2.1	Адаптации живых организмов к факторам окружающей среды.	2		2		Устный опрос. Выступления с докладами. Учебная дискуссия.
2.1.1	Влияние экологических факторов окружающей среды на жизнедеятельность живых организмов.		2			Письменный отчет по практической работе.
2.2	Температурные адаптации у живых организмов.	2				Устный опрос.
2.3	Водно-солевой обмен у живых организмов.	2				Устный опрос.
2.4	Газообмен у живых организмов.	2				Устный опрос.
2.5	Свет как экологический фактор.	2				Устный опрос. Коллоквиум по разделу 2.
<b>3.</b>	<b>Популяция.</b>	<b>8</b>		<b>2</b>		Устный опрос. Выступления с докладами. Учебная дискуссия.
3.1	Популяция как биологическая система.	2		2		Устный опрос. Выступления с докладами. Учебная дискуссия.
3.2	Пространственная структура популяций	2				Устный опрос.
3.3	Гомеостаз популяций	2				Устный опрос.
3.4	Динамика популяций	2				Устный опрос.

<b>4.</b>	<b>Биоценоз и экосистема</b>	<b>8</b>	<b>6</b>	<b>2</b>		
4.1	Пространственная и трофическая структура биоценоза.	2				Устный опрос.
4.2	Формы межвидовых связей в экосистемах	2				Устный опрос.
4.3	Структура биогеоценоза и динамика экосистем.	2		2		Устный опрос. Выступления с докладами. Учебная дискуссия.
4.3.1	Материальные потоки веществ в лесных экосистемах.		2			Письменный отчет по практической работе.
4.4	Прикладные аспекты экологии.	2				Устный опрос. Коллоквиум по разделу 4.
4.4.1	Антропогенное воздействие на растительные сообщества.		2 (ДОТ)			Письменный отчет по практической работе.
4.4.2	Экологические задачи по сохранению биологического разнообразия.		2 (ДОТ)			Письменный отчет по практической работе. Реферат.