

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ  
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«ОРЕНБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ  
ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ**

Экология Б1.Б11

Направление подготовки 35.03.01Лесное дело

Профиль подготовки Лесное хозяйство

Форма обучения очная

Оренбург 2018 г.

## **СОДЕРЖАНИЕ**

<b>1. Конспект лекций .....</b>	3
1.1 Лекция 1 (Л-1) Введение в экологию	
1.2 Лекция 2 (Л-2) Среда и факторы среды	
1.3 Лекция 3 (Л-3) Действия факторов среды на организмы	
1.4 Лекция 4 (Л-4) Реакция организмов на изменение уровня экологических факторов	
1.5 Лекция 5 (Л-5) Учение о биосфере	
1.6 Лекция 6 (Л-6) Биогеохимические круговороты веществ в природе	
1.7 Лекция 7 (Л-7) Типы межвидовых взаимоотношений	
1.8 Лекция 8 (Л-8) Биоценоз и его структура	
1.9 Лекция 9 (Л-9) Организация (структура) экосистем	
1.10 Лекция 10 (Л-10) Вид и индивидуум в экосистеме	
1.11 Лекция 11 (Л-11) Структура и развитие экосистем	
1.12 Лекция 12 (Л-12) Характеристика основных типов экосистем	
1.13 Лекция 13 (Л-13) Популяционно-видовой уровень жизни	
1.14 Лекция 14 (Л-14) Динамика популяций	
1.15 Лекция 15 (Л-15) Экологическая политика	
<b>2. Методические указания по выполнению лабораторных работ .....</b>	102
Не предусмотрено РУП.	
<b>3. Методические указания по проведению практических занятий .....</b>	102
3.1 Практическое занятие 1 (ПЗ-1) Действие факторов среды на организм	
3.2 Практическое занятие 2 (ПЗ-2) Влияние освещенности на морфометрические показатели растений	
3.3 Практическое занятие 3 (ПЗ-3) Влияние интенсивности света на процесс фотосинтеза	
3.4 Практическое занятие 4 (ПЗ-4) Приспособления организма к условиям среды	
3.5 Практическое занятие 5 (ПЗ-5) Классификация видов животных и растений по экологическим группам и определить общие для них адаптации.	
3.6 Практическое занятие 6 (ПЗ-6) Классификация видов животных и растений по экологическим группам и определить общие для них адаптации. Коллоквиум №1	
3.7 Практическое занятие 7 (ПЗ-7) Описание особенностей действия экологических факторов в разных природных зонах России.	
3.8 Практическое занятие 8 (ПЗ-8) Описание особенностей действия экологических факторов на территории Оренбургской области.	
3.9 Практическое занятие 9 (ПЗ-9) Анализ видовой структуры биоценозов	
3.10 Практическое занятие 10 (ПЗ-10) Динамика биоценозов во времени	
3.11 Практическое занятие 11 (ПЗ-11) Сериальные и климаксовые сообщества	
3.12 Практическое занятие 12 (ПЗ-12) Основные геохимические циклы. Коллоквиум №2	
3.13 Практическое занятие 13 (ПЗ-13) Описание биогеохимических циклов	
3.14 Практическое занятие 14 (ПЗ-14) Расчет объемов миграции биогенных элементов в экосистемах	
3.15 Практическое занятие 15 (ПЗ-15) Антропогенный геохимический цикл.	
3.16 Практическое занятие 16 (ПЗ-16) Газоустойчивость древесных растений.	
3.17 Практическое занятие 17 (ПЗ-17) Расчет выбросов оксида углерода, углеводородов, оксидов азота и серы, сажи в атмосферу автотранспортными средствами.	
3.18 Практическое занятие 18 (ПЗ-18) Уровни производства органического вещества в природе. Коллоквиум 3.	
3.19 Практическое занятие 19 (ПЗ-19) Экологические пирамиды	
3.20 Практическое занятие 20, 21 (ПЗ-20, 21) Лихеноиндикация	
3.21 Практическое занятие 22 (ПЗ-22) Оценка качества среды по величине флюктуирующей асимметрии листьев бересклета повислой	
3.22 Практическое занятие 23 (ПЗ-23) Антропогенные сукцессии	

<b>4. Методические указания по проведению семинарских занятий .....</b>	123
Не предусмотрено РУП.	

## **1. КОНСПЕКТЫ ЛЕКЦИЙ**

### **Лекция 1 (Л-1) Введение в экологию**

#### **Вопросы:**

- 1.Экология как наука, ее предмет, задачи, цели и методы
- 2.История развития экологии

### **3. Основные понятия экологии**

### **4. Структура общей экологии, ее место в системе естественных наук**

#### **Основные вопросы:**

##### **1. Экология как наука, ее предмет, задачи, цели и методы**

Термин «экология» впервые был введен в 1866 году немецким ученым Э. Геккелем в его книге «Всеобщая морфология организмов». Он состоит из двух латинских слов: «oikos» - дом, местообитание, жилище, и «logos» - наука. В дословном переводе - это наука об организмах у себя дома.

Экология - это биологическая наука, изучающая формирование, структуру и функционирование биологических систем всех уровней от организма до биосферы и их взаимодействие с окружающей средой. Из данного определения вытекают задачи экологии.

Экология как наука должна решать следующие задачи:

1. Изучить законы и закономерности взаимодействия организмов со средой их обитания;

2. Изучить формирование, структуру и функционирование надорганизменных биологических систем (популяция, биоценоз (сообщество), биогеоценоз (экосистема), биом, биосфера).

3. Изучить законы и закономерности взаимодействия надорганизменных биологических систем (популяция, биоценоз (сообщество), биогеоценоз (экосистема), биом, биосфера) с окружающей средой.

Решение задач, стоящих перед экологией, позволит достичь поставленных перед ней целей.

Цели экологии можно сформулировать следующим образом.

1. Разработка оптимальных путей взаимодействия общества и природы с учетом законов существования природы;

2. Прогнозирование последствий воздействия общества на природу с целью предотвращения негативных результатов.

Для решения задач, стоящих перед экологией, она использует как свои собственные методы, так и методы других наук. Собственные методы экологии можно разделить на три группы.

1. Полевые методы - это методы, позволяющие изучить влияние комплекса факторов естественной среды на естественные биологические системы и установить общую картину существования и развития системы.

2. Лабораторные методы - это методы, позволяющие изучить влияние комплекса факторов моделированной в лабораторных условиях среды на естественные или моделированные биологические системы. Эти методы дают возможность получить приблизительные результаты, которые требуют дальнейшего подтверждения в полевых условиях.

3. Экспериментальные методы - это методы, позволяющие изучить влияние отдельных факторов естественной или моделированной среды на естественные или моделированные биологические системы. Они применяются в сочетании как с полевыми, так и с лабораторными методами. Кроме собственных методов экология широко использует методы таких наук, как биохимия, физиология, микробиология, генетика, цитология, гистология, физика, химия, математика и др.

В зависимости от типа изучаемой биологической системы в экологии выделяют следующие разделы: факториальная экология (аутэкология), учение о популяциях (демэкология), учение о сообществах (синэкология), учение об экосистемах (биогеоценология) и учение о биосфере (глобальная экология).

#### **2. История развития экологии**

Первый этап - зарождение и становление экологии как науки (до 60-х гг. XIX в.). На этом этапе накапливались данные о взаимосвязи живых организмов со средой их обитания, делались первые научные обобщения. В XVII-XVIII вв. экологические сведения составляли значительную долю во многих биологических описаниях. Элементы экологического подхода содержались в исследованиях русских ученых И. И. Лепехина, А. Ф. Миддендорфа, С. П. Крашенникова, французского ученого Ж. Бюффона, шведского естествоиспытателя К. Линнея, немецкого ученого Г. Йегера и др.

В этот же период Ж. Ламарк и Т. Мальтус впервые предупреждают человечество о возможных негативных последствиях воздействия человека на природу.

Второй этап - оформление экологии в самостоятельную отрасль знаний.

Начало этапа ознаменовалось выходом работ русских ученых К. Ф. Рулье, Н. А. Северцова, В. В. Докучаева, впервые обосновавших ряд принципов и понятий экологии, которые не утратили своего значения и до настоящего времени. Не случайно поэтому американский эколог Ю. Одум считает В. В. Докучаева одним из основателей экологии. В конце 70-х гг. XIX в. немецкий гидробиолог К. Мебиус вводит важнейшее понятие о биоценозе как о закономерном сочетании организмов в определенных условиях среды.

Неоценимый вклад в развитие основ экологии внес Ч. Дарвин, вскрывший основные факторы эволюции органического мира. То, что Ч. Дарвин называл «борьбой за существование», с эволюционных позиций можно трактовать как взаимоотношение живых существ с внешней, абиотической средой и между собой, т. е. с биотической средой.

Немецкий биолог-эволюционист Э. Геккель первый понял, что это самостоятельная и очень важная область биологии, и назвал ее экологией. В своем капитальном труде «Всеобщая морфология организмов» он писал: «Под экологией мы понимаем сумму знаний, относящихся к экономике природы: изучение всей совокупности взаимоотношений животного с окружающей его средой, как органической, так и неорганической, и прежде всего - его дружественных или враждебных отношений с теми животными и растениями, с которыми он прямо или косвенно вступает в контакт. Одним словом, экология - это изучение всех сложных взаимоотношений, которые Дарвин назвал «условиями, порождающими борьбу за существование».

Как самостоятельная наука экология окончательно оформилась в начале XX в. В этот период американский ученый Ч. Адамс создает первую сводку по экологии, публикуются другие важные обобщения и сводки. Крупнейший русский ученый XX в. В. И. Вернадский создает фундаментальное учение о биосфере.

В 30-е и 40-е гг. экология поднялась на более высокую ступень в результате нового подхода к изучению природных систем. Сначала А. Тенсли выдвинул понятие об экосистеме, а несколько позже В. Н. Сукачев обосновал близкое этому представление о биогеоценозе. Следует отметить, что уровень отечественной экологии в 20-40-х гг. был одним из самых передовых в мире, особенно в области фундаментальных разработок. В этот период работали такие выдающиеся ученые, как академик В. И. Вернадский и В. Н. Сукачев, а также крупные экологи В. В. Станчинский, Э. С. Бауэр, Г. Г. Гаузе, В. Н. Беклемишев, А. Н. Формозов, Д. Н. Кашкаров и др.

Во второй половине XX в. в связи с загрязнением окружающей среды и резким усилением воздействия человека на природу экология приобретает особое значение.

Начинается третий этап - превращение экологии в комплексную науку, включающую в себя науки об охране природной и окружающей человека среды. Из строгой биологической науки экология превращается в «значительный цикл знания, воврав в себя разделы географии, геологии, химии, физики, социологии, теории культуры, экономики...».

Первые природоохранные акты на Руси известны с IX-XII вв. В XIV-XVII вв. на южных границах Русского государства существовали «засечные леса», своеобразные охраняемые территории, на которых были запрещены хозяйствственные рубки. История сохранила более 60 природоохранных указов Петра I. При нем же началось изучение богатейших природных ресурсов России. В 1805 г. в Москве было основано общество испытателей природы. В конце XIX - начале XX в. возникло движение за охрану редких объектов природы. Трудами выдающихся ученых В. В. Докучаева, К. М. Бэра, Г. А. Кожевникова, И. П. Бородина, Д. Н. Анучина, С. В. Завадского и других были заложены научные основы охраны природы.

Начало природоохранной деятельности Советского государства совпало с рядом первых декретов, начиная с «Декрета о земле» от 26 октября 1917 г., который заложил основы природопользования в стране. Именно в этот период зарождается и получает законодательное выражение основной вид природоохранной деятельности - охрана природы.

В период 30-40-х гг., в связи с эксплуатацией природных богатств, вызванных, главным образом, ростом масштабов индустриализации в стране, охрана природы стала рассматриваться как «единая система мероприятий, направленная на защиту, развитие, качественное обогащение и рациональное использование природных фондов страны» (из резолюции Первого Всероссийского съезда по охране природы, 1929 г.).

Таким образом, в России возникает новый вид природоохранной деятельности - рациональное использование природных ресурсов.

В 50-е гг. дальнейшее развитие производительных сил в стране, усиление негативного влияния человека на природу обусловило необходимость создания еще одной формы, регулирующей взаимодействие общества и природы, - охраны среды обитания человека. В этот период принимаются республиканские законы об охране природы, которые провозглашают комплексный подход к природе не только как к источнику природных ресурсов, но и как к среде обитания человека. К сожалению, еще торжествовала лысенковская псевдонаука, канонизировались слова И. В. Мичурина о необходимости не ждать милости у природы.

В 60-80-е гг. практически ежегодно принимались правительственные постановления об усилении охраны природы (об охране бассейна Волги и Урала, Азовского и Черного морей, Ладожского озера, Байкала, промышленных городов Кузбасса и Донбасса, Арктического побережья). Продолжался процесс создания природоохранного законодательства, издавались земельные, водные, лесные и иные кодексы.

Эти постановления и принятые законы, как показала практика их применения, не дали необходимых результатов - губительное антропогенное воздействие на природу продолжалось.

### 3.Основные понятия экологии

Предмет экологии разделяется тремя способами. Во-первых, выделяют аутэкологию, которая исследует взаимодействие отдельных организмов и видов со средой, и синэкологию, которая изучает сообщество. Во-вторых, разделение идет по типам сред, или местообитаний, – экология пресных вод, моря, суши, океана. В-третьих, экология разделяется на таксономические ветви – экологию растений, экологию насекомых, экологию позвоночных и т. д., вплоть до экологии человека. Рассматриваются также различные области практического приложения экологии – природные ресурсы, загрязнение среды и т. п.

Основные понятия экологии: популяция, сообщество, местообитание, экологическая ниша, экосистема. Популяцией называется группа организмов, относящихся к одному виду и занимающих определенную область, называемую ареалом. Сообществом, или биоценозом, называют совокупность растений и животных, населяющих участок среды обитания. Совокупность условий, необходимых для существования популяций, носит название экологической ниши. Экологическая ниша определяет положение вида в цепях питания.

Совокупность сообщества и среды носит название экологической системы, или биогеоценоза (различия между этими понятиями для нас пока несущественны). Ю. Одум дает такое определение:

«Любое единство, включающее все организмы на данном участке и взаимодействующее с физической средой таким образом, что поток энергии создает четко определенную трофическую структуру, видовое разнообразие и круговорот веществ внутри системы, представляет собой экологическую систему, или экосистему». Термин «экосистема» был введен английским экологом А. Тэнсли в 1935 году. В 1944 году В. Н. Сукачевым предложен термин «биогеоценоз», а В. И. Вернадский использовал понятие «биокосное тело». Главное значение этих понятий состоит в том, что они подчеркивают обязательное наличие взаимоотношений, взаимозависимости и причинно-следственных связей, иначе говоря, объединение компонентов в функциональное целое. В качестве примера экосистемы можно привести озеро, лес и т. п. Экосистемы очень различны. Всю биосферу можно рассматривать как совокупность экосистем от голубого океана, в котором преобладают мелкие организмы, но плотность биомассы велика, до высокого леса с крупными деревьями, но меньшей общей плотностью биомассы.

Выделяют два подхода к изучению экологической системы: аналитический, когда изучают отдельные части системы, и синтетический, рассматривающий всю систему в целом. Оба подхода дополняют друг друга. В зависимости от характера питания в экосистеме строится пирамида питания, состоящая из нескольких трофических уровней. Низший занимают автотрофные (буквально: самостоятельно питающиеся) организмы, для которых характерны фиксация световой энергии и использование простых неорганических соединений для синтеза сложных органических веществ. К этому уровню относятся прежде всего растения. На более высоком уровне располагаются гетеротрофные (буквально: питающиеся другими) организмы, использующие в пищу биомассу растений, для которых характерны утилизация, перестройка и разложение сложных веществ. Затем идут гетеротрофы второго порядка, питающиеся гетеротрофами первого порядка, т. е. животными. Экологическая пирамида, или пирамида питания, хорошо запоминается со школьных уроков биологии.

В целом в составе экосистемы выделяют три неживых и три живых компонента:

1) неорганические вещества (азот, углекислый газ, вода и др.), включающиеся в природные кругообороты;

2) органические соединения (белки, углеводы и т. д.);

3) климатический режим (температура, свет, влажность и другие физические факторы);

4) продуценты (автотрофные организмы, главным образом зеленые растения, которые создают пищу из простых неорганических веществ);

5) макроконсументы – гетеротрофные организмы, главным образом животные, которые поедают другие организмы;

6) микроконсументы, или редуценты, – гетеротрофные организмы, преимущественно бактерии и грибы, «которые разрушают сложные соединения мертвой протоплазмы, поглощают некоторые продукты разложения и высвобождают неорганические питательные вещества, пригодные для использования продуцентами, а также органические вещества, способные служить источниками энергии, ингибиторами или стимуляторами для других биотических компонентов экосистемы». Взаимодействие автотрофных и гетеротрофных компонентов – один из самых общих признаков экосистемы, хотя часто эти организмы разделены в пространстве, располагаясь в виде ярусов:

4. Структура общей экологии, ее место в системе естественных наук

Экология – наука об организации и функционировании надорганизменных биологических систем всех уровней – экосистем, сообществ, биосфера.

Экология превратилась из частного раздела биологии, знакомого узкому кругу специалистов, в обширный и еще окончательно не сформировавшийся комплекс фундаментальных и прикладных дисциплин – мегаэкологию.

Геккель рассматривал экологию как науку, изучающую взаимодействие организмов со средой их обитания. В тот период организм считался самым сложным уровнем организации жизни. В ходе развития экологии выяснилось, что жизнь существует и в виде надорганизменных уровней организации. В этой связи представление об экологии как науке в настоящее время существенно расширилось. Чтобы ответить на вопрос, что является предметом экологии, необходимо рассмотреть уровни организации живой материи. С точки зрения современной биологии жизнь на планете Земля представлена следующими уровнями организации живой материи: ген - клетка - ткань - орган - организм - популяция - биоценоз (сообщество) - биогеоценоз (экосистема) - биом - биосфера. В этом жизненном спектре предметом экологии являются биологические системы от организма до биосферы. Исходя из этого, можно дать современное определение экологии как науки.

## **Лекция 2 (Л-2) Среда и факторы среды**

1. Экологическая среда

2. Факторы среды, их классификация

3. Ресурсы среды

### **Основные вопросы:**

1. Экологическая среда

**Экологическая среда - система взаимодействий человека и мира (по У.Бронfenбrenнеру).** Представляет собой систему из четырех концентрических структур. Микросистема-структура деятельности, ролей и межличностных взаимодействий в данном конкретном окружении. Мезосистема - структура взаимоотношения двух и более сред. Экзосистема - среда, в пространстве которой происходят значимые события. Макросистема - ценности, законы и традиции культуры, в которой живет субъект.

## 2. Факторы среды, их классификация

**Среда обитания** – природные тела и явления, находящиеся в прямых и косвенных взаимоотношениях с организмом (организмами). Отдельные элементы среды являются **факторами**.

1. Окружающая среда – среда, измененная человеком. Природная среда, окружающая природу – это среда, измененная в малой степени.

2. Или не измененная человеком.

3. Местообитание – среда жизни организма или вида, в которой проходит весь цикл его развития.

Влияние среды на организмы оценивают через экологические факторы (любой элемент или условие среды, на которые организм реагирует приспособительными реакциями).

### **Классификация факторов.**

1. Факторы неживой природы (абиотические): климатические, атмосферные, почвенные и др.

2. Факторы живой природы (биотические) – влияние одних организмов на другие: со стороны растений (фитогенные), животных (зоогенные) и т. п.

3. Факторы человеческой деятельности (антропогенные): прямое влияние на организмы (промысел) или косвенное – на местообитание (загрязнение среды).

Современные экологические проблемы и возрастающий интерес к экологии связаны с действием антропогенных факторов.

Существует классификация факторов степени адаптации к ним организмов по периодичности (смена суток, сезонов года, приливноотливные явления и т. п.) и направленности действия (потепление кли мата, заболачивание территорий и т. п.). Организмы легче всего адаптируются к четко изменяющимся факторам (строго периодические, направленные). Адаптация к ним часто является наследственно обусловленной. Даже если фактор меняет периодичность, то организм продолжает некоторое время сохранять адаптацию к нему, действовать в ритме биологических часов (при смене часовых поясов). Наибольшие трудности для адаптации представляют факторы неопределенные, например антропогенные факторы. Многие из них выступают как вредные (загрязняющие вещества). Из быстроизменяющихся факторов большое беспокойство сегодня вызывают изменения климата (в частности, из-за парникового эффекта), изменение водных экосистем (из-за мелиорации и т. п.). В некоторых случаях по отношению к ним организмы используют механизмы преадаптаций, т. е. адаптаций, выработанных по отношению к другим факторам. Например, устойчивости растений к загрязнению воздуха в некоторой степени способствуют структуры, замедляющие процессы поглощения веществ, которые также благоприятны и для засухоустойчивости, в частности плотные покровные ткани листьев. Это нужно учитывать например при подборе видов для выращивания в районах с высокой промышленной нагрузкой, а также для озеленения городов.

Все экологические факторы делят на группы:

1. Абиотические факторы включают компоненты и явления неживой природы, прямо или косвенно воздействующие на живые организмы. Среди множества абиотических факторов главную роль играют:

- **климатические** (солнечная радиация, свет и световой режим, температура, влажность, атмосферные осадки, ветер, атмосферное давление и др.);

- **эдафические** (механическая структура и химический состав почвы, влагоемкость, водный, воздушный и тепловой режим почвы, кислотность, влажность, газовый состав, уровень грунтовых вод и др.);
- **орографические** (рельеф, экспозиция склона, крутизна склона, перепад высот, высота над уровнем моря);
- **гидрографические** (прозрачность воды, текучесть, проточность, температура, кислотность, газовый состав, содержание минеральных и органических веществ и др.);
- **химические** (газовый состав атмосферы, солевой состав воды);
- **пирогенные** (воздействие огня).

2. Биотические факторы — совокупность взаимоотношений живых организмов, а также их взаимовлияний на среду обитания. Действие биотических факторов может быть не только непосредственным, но и косвенным, выражаясь в корректировке абиотических факторов (например, изменение состава почвы, микроклимата под пологом леса и т.д.). К биотическим факторам относятся:

- **фитогенные** (влияние растений друг на друга и на окружающую среду);
- **зоогенные** (влияние животных друг на друга и на окружающую среду).

3. Антропогенные факторы отражают интенсивное влияние человека (непосредственно) или человеческой деятельности (опосредованно) на окружающую среду и живые организмы. К таким факторам относятся все формы деятельности человека и человеческого общества, которые приводят к изменению природы как среды обитания и других видов и непосредственно сказываются на их жизни. Каждый живой организм испытывает влияние неживой природы, организмов других видов, в том числе человека, и в свою очередь оказывает воздействие на каждую из этих составляющих.

Влияние антропогенных факторов в природе может быть как сознательным, так и случайным, или неосознанным. Человек, распахивая целинные и залежные земли, создает сельскохозяйственные угодья, выводит высокопродуктивные и устойчивые к заболеваниям формы, расселяет одни виды и уничтожает другие. Эти воздействия (сознательные) часто носят отрицательный характер, например необдуманное расселение многих животных, растений, микроорганизмов, хищническое уничтожение целого ряда видов, загрязнение среды и др.

К случайным относятся воздействия, которые происходят в природе под влиянием деятельности человека, но не были заранее предусмотрены и запланированы им: распространение вредителей, паразитов, случайный завоз различных организмов с грузом, непредвиденные последствия, вызванные сознательными действиями в природе, например осушением болот, постройкой плотин, распашкой целины и др.

Биотические факторы среды проявляются через взаимоотношения организмов, входящих в одно сообщество. В природе многие виды тесно взаимосвязаны, их отношения друг с другом как компонентами окружающей среды могут носить чрезвычайно сложный характер. Что касается связей между сообществом и окружающей неорганической средой, то они всегда являются двусторонними, обоюдными. Так, характер леса зависит от соответствующего типа почв, но сама почва в значительной мере формируется под влиянием леса. Подобно этому температура, влажность и освещенность в лесу определяются растительностью, но сформировавшиеся климатические условия в свою очередь влияют на сообщество обитающих в лесу организмов.

### 3. Ресурсы среды

В современном понимании под ресурсами, поддающимся качественному и количественному описанию, подразумеваются все природные источники, на которые осуществляется воздействие человека, причём знак этого воздействия бывает как положительным, так и отрицательным.

Обеспеченность ресурсами является основой функционирования теплоэнергетики и всей энергетики в целом в конкретных условиях. До настоящего времени обычно рассматривалась в различных аспектах обеспеченность теплоэнергетики только первичными топливными ресурсами. Но влияние на энергетику оказывают и многие другие компоненты атмосферы, гидросферы, литосферы, которые тоже необходимо принимать во внимание.

Развитие теплоэнергетики, как общей системы использования природных ресурсов началось в начале текущего столетия. Долгое время основным источником тепловой энергии во всём мире были дрова, мускульная энергия людей и скота. Коренное изменение структуры теплопотребления произошло в 20 веке.

Применение двигателей внутреннего сгорания в промышленной теплоэнергетике, в морском и автомобильном транспорте, в сельском хозяйстве, а затем и в авиации вызвали развитие добычи и переработки нефти. Для бытовых и промышленных целей стало использоваться газовое топливо, как более дешевое, удобное в эксплуатации и удешевляющее котельное оборудование. С середины текущего столетия прирост теплоэнергопотребления происходит преимущественно за счёт этих двух видов ресурсов (1990 год: Нефть-0,03 млрд.т.ут.; Уголь- 0,73 млрд.т.ут.; 1975 год: Нефть-4,04, Природный газ-1,69, Уголь-2,63 млрд.т.ут.).

Важнейшим событием явилось открытие путей использования ядерной энергии. Наряду с органическим топливом, ядерное топливо относится к категории невозобновляемых энергетических ресурсов, в отличии от возобновляемых, к которым относятся: лучистая энергия Солнца, механическая энергия речных стоков, приливов, волн и ветров, тепловая энергия земных недр (геотермальная энергия) и тепловая энергия, основанная на температурном градиенте разных слоёв воды мирового океана.

Органическое топливо- 70-90% приходится на угли (извлекаемость 30-60%). Геологические ресурсы каменного угля- 7,5-14,0 трлн.т., (извлекаемость 1,0-2,4 трлн.т.).

Наиболее динамично изменяются представления о ресурсах нефти и природного газа- (извлекаемость 80-110 млрд.т.) и (700-1100 млрд.т.- геологические ресурсы нефти, природного газа- 800 трлн.м3.

Ядерное топливо: суммарные запасы урана, доступные извлечению из недр, оцениваются в 66,16 млн.т., ресурсы дейтерия сосредоточенные в атмосфере практически неисчерпаемы. Потенциальные ресурсы ядерного топлива по тепловому эквиваленту значительно превосходят суммарные ресурсы всех видов органического топлива.

Возобновляемые ресурсы: энергия недр Земли, космического излучения и излучения Солнца, а также их производные в виде преобразованной или аккумулированной энергии. Из наиболее перспективных источников энергии этой группы могут быть названы: энергия Солнца, гидроэнергия (энергия стока рек- наиболее освоена и широко применяется), энергия ветра.

### **Лекция 3 (Л-3) Действия факторов среды на организмы**

- 1.Общие закономерности действия факторов среды на организмы
- 2.Комплексное действие факторов среды на организм
- 3.Концепция лимитирующих факторов

#### **Основные вопросы:**

- 1.Общие закономерности действия факторов среды на организмы

В комплексе действия факторов можно выделить некоторые закономерности, которые являются в значительной мере универсальными (общими) по отношению к организмам. К таким закономерностям относятся правило оптимума, правило взаимодействия факторов, правило лимитирующих факторов и некоторые другие.

**Правило оптимума.** В соответствии с этим правилом для организма или определённой стадии его развития имеется диапазон наиболее благоприятного (оптимального) значения фактора. Чем значительнее отклонение действия фактора от оптимума, тем больше данный фактор угнетает жизнедеятельность организма. Этот диапазон называется зоной угнетения. Максимально и минимально переносимые значения фактора – это критические точки, за пределами которых существование организма уже невозможно.

К зоне оптимума обычно приурочена максимальная плотность популяции. Зоны оптимума для различных организмов неодинаковы. Чем шире амплитуда колебаний фактора, при которой организм может сохранять жизнеспособность, тем выше его устойчивость, т.е. **толерантность** к тому или иному фактору (от лат. толерация – терпение). Организмы с широкой амплитудой устойчивости относятся к группе **эврибионтов** (греч. эури – широкий, биос – жизнь). Организмы с узким диапазоном адаптации к факторам

называются **стенобионтами** (греч. стено – узкий). Важно подчеркнуть, что зоны оптимума по отношению к различным факторам различаются, и поэтому организмы полностью проявляют свои потенциальные возможности в том случае, если существуют в условиях всего спектра факторов с оптимальными значениями.

Диапазон между минимумом и максимумом принято называть **диапазоном толерантности**. Организмы могут иметь широкий диапазон толерантности в отношении одного фактора и узкий в отношении другого. Организмы с широким диапазоном толерантности обычно наиболее широко распространены. Если условия по одному экологическому фактору не оптимальны, то может сузиться и диапазон толерантности к другим факторам. Пользоваться оптимальными физическими условиями среды во многих случаях организмам мешают биотические отношения (конкуренция, хищничество, паразитизм и т. д.). В период размножения многие факторы среды часто становятся лимитирующими.

**Правило взаимодействия факторов.** Сущность его заключается в том, что одни факторы могут усиливать или смягчать силу действия других факторов. Например, избыток тепла может в какой-то мере смягчаться пониженной влажностью воздуха, недостаток света для фотосинтеза растений – компенсироваться повышенным содержанием углекислого газа в воздухе и т.п. Из этого, однако, не следует, что факторы могут взаимозаменяться. Они не взаимозаменяемы.

**Правило лимитирующих факторов.** Сущность этого правила заключается в том, что фактор, находящийся в недостатке или избытке (вблизи критических точек), отрицательно влияет на организмы и, кроме того, ограничивает возможность проявления силы действия других факторов, в том числе и находящихся в оптимуме. Лимитирующие факторы обычно обуславливают границы распространения видов, их ареалы. От них зависит продуктивность организмов.

Человек своей деятельностью часто нарушает практически все из перечисленных закономерностей действия факторов. Особенно это относится к лимитирующим факторам (разрушение местообитаний, нарушение режима водного и минерального питания и т.п.).

## 2. Комплексное действие факторов среды на организм

Все факторы среды в природе действуют на организм одновременно, причем, не каждый сам по себе, т.е. в виде простой суммы, а как сложный взаимодействующий комплекс. При этом наблюдается усиление или ослабление силы одного фактора под влиянием другого, в результате чего абсолютная сила фактора, которую можно измерить с помощью соответствующих приборов, не будет равна силе воздействия фактора, которую можно определить по ответной реакции организма. Например, жару легче переносить при сухом, а не влажном воздухе, угроза замерзания выше при морозе с сильным ветром, чем в безветренную погоду. Эта закономерность взаимодействия факторов называется конstellацией факторов. Таким образом, один и тот же фактор в сочетании с другими оказывает неодинаковое экологическое воздействие. И наоборот, один и тот же экологический эффект может быть достигнут разными путями. Например, компенсация недостатка влаги может быть осуществлена поливом или снижением температуры. Однако взаимная компенсация факторов имеет пределы и полностью заменить один фактор другим невозможно.

Организмы, живущие в разных частях своего ареала, имеют различные приспособительные особенности, поэтому виды с широким географическим распространением почти всегда образуют адаптированные к местным условиям популяции, называемые экотипами. Их оптимумы толерантности соответствуют местным условиям, а компенсация факторов может сопровождаться появлением генетически закрепленных приспособлений - адаптаций или может быть просто физиологической акклиматизацией без генетических изменений. Адаптациями называются эволюционно выработанные и наследственно закрепленные особенности живых организмов, обеспечивающие нормальную жизнедеятельность в условиях динамических экологических факторов. Адаптации бывают разных типов.

1. Биохимические адаптации - это наследственно закрепленные изменения в обмене веществ организма (появление изоферментов, изменение сродства фермента к субстрату,

изменение константы ингибирования фермента к ингибиторам и т.д.).

2. Физиологические адаптации - это наследственно закрепленные изменения характера и скорости физиологических процессов (изменение набора пищеварительных ферментов в зависимости от состава пищи, изменение кислородной емкости крови в зависимости от концентрации кислорода в воздухе, изменение способа терморегуляции в зависимости от температурного режима среды и т.д.).

3. Морфологические адаптации - это наследственно закрепленные изменения морфологических признаков (приспособления к быстрому плаванию или нырянию у различных животных, приспособления к засушливым условиям у растений, приспособления к распространению плодов у покрытосеменных растений и т.д.).

4. Поведенческие (этологические) адаптации - это наследственно закрепленные различные формы поведения с целью приспособления к условиям среды (поведение животных, направленное на обеспечение нормального теплообмена с окружающей средой - строительство убежищ, суточные и сезонные кочевки; приспособительное поведение у хищника и жертвы, паразита и хозяина; брачные игры у птиц и млекопитающих в период размножения и т.д.). Живой организм при прочих равных условиях выбирает местообитание с минимальной амплитудой колебаний одного или нескольких лимитирующих факторов среды. Эта закономерность поведения организмов получила название «принцип минимальной амплитуды».

Для выяснения того, в какой степени образование приспособлений у экотипов сопровождается их генетическим закреплением, служит метод реципрокных пересадок. Если имеющиеся отличия сохраняются в новых условиях, значит, они закреплены генетически и являются адаптациями. В прикладной экологии часто оставляли без внимания возможности генетического закрепления особенностей местных линий организмов, вследствие чего попытка интродукции животных и растений с целью увеличения разнообразия популяций оказывалась неудачной.

При изучении влияния комплекса факторов среды на организм были установлены определенные закономерности в ответной реакции организмов, которые впоследствии были сформулированы в виде соответствующих правил или принципов.

«Правило предварения». В 1951 году В.В.Алехин для растений установил «правило предварения», согласно которому при продвижении с севера на юг в распределении растительности наблюдается закономерность. Это правило позволяет предсказать состав растительности на еще необследованной местности или восстановить прежний ее облик там, где она уже уничтожена.

«Принцип стационарной верности». Свойство видов избирательно занимать те или иные стации получило название «принцип стационарной верности». Это важнейшая экологическая закономерность, имеющая значение при определении полезности или вредности воздействия факторов. Стацией называется участок территории, занятый популяцией вида и характеризующийся однородными экологическими условиями, а также определенным количеством корма.

«Правило смены местообитаний». «Принцип стационарной верности» применим в условиях ограниченного времени и пространства. Закономерное изменение видами своих местообитаний в широком диапазоне времени и пространства было сформулировано как «правило смены местообитаний» в 1966 году ученым Г.Я.Бей-Биенко. В пространстве «правило смены местообитаний» выражается в зональной и вертикальной смене стаций и в зональной смене ярусов, а во времени - в сезонной и годичной смене стаций.

«Правило смены ярусов». М.С.Гиляров ввел «правило смены ярусов», согласно которому в разных зонах одни и те же виды занимают неодинаковые ярусы. Это характерно для транзональных видов, т.е. видов, широко распространенных и встречающихся во многих природных зонах.

### 3. Концепция лимитирующих факторов

В 1840 г. немецкий ученый-агрохимик Юстус Либих выпустил небольшую книгу «Химия в приложении к земледелию и физиологии». В ней он описал процессы питания растений и влияние разнообразных факторов и элементов питания на их рост. Ученый

установил, что урожай культур зачастую ограничивается (лимитируется) не теми элементами питания, которые требуются в больших количествах, такими, как, к примеру, углекислый газ и вода (обычно эти вещества присутствуют в среде в изобилии), а теми, которые необходимы в минимальных количествах, но которых и в почве очень мало (например, цинк). Он писал: «Веществом, находящимся в минимуме, управляет урожай и определяется величина и устойчивость последнего во времени».

Юстус Либих (1803-1873) родился в Дармштадте (Германия). Его отец, владелец аптекарского магазина, держал за городом небольшую примитивную мастерскую (точнее, лабораторию) для изготовления некоторых своих товаров. Поэтому юный Либих познакомился с химией довольно рано.

Осенью 1820 г. исполнилось его сокровенное желание: изучать химию в университете в Бонне. Еще через два года Либиху была присуждена стипендия, которая дала ему возможность продолжить образование в Париже.

Свою первую работу, посвященную связи между неорганической химией и химией растений, Либих опубликовал, будучи двадцатилетним парижским студентом. За эту работу ему присвоили докторскую степень.

Если считать, что гумус (перегной) и вода - основные источники питания растений, то можно объяснить колебания в урожайности и предсказать, как будет меняться плодородие почв. Это долгое время никем не подвергалось сомнению. Но однажды Либих выступил с новой трактовкой давно известных вопросов. Он подробно рассмотрел круговорот химических элементов в живой и неживой природе и сделал вывод: в растениях обязательно содержатся десять химических элементов - углерод, водород, кислород, азот, фосфор, кальций, калий, сера, магний и железо. Среди этих элементов лишь азот, кислород, водород и углерод всегда присутствуют в природе в достаточном количестве: ведь это элементы, которые входят в состав воды и воздуха.

Остальные шесть элементов растения черпают из почвы, и если хотя бы одного из них не хватает, срабатывает «закон минимума», согласно которому элемент, которого меньше, чем нужно, и определяет плодородие (или, наоборот, неплодородие) почвы.

Либих утверждал, что «основным принципом земледелия следует считать требование, чтобы почве в полной мере было возвращено то, что у нее было взято. В какой форме будет осуществлен этот возврат - в виде навоза животных, в виде золы или костей - это более или менее безразлично. Наступает время, когда пашня и каждое растение будет обеспечено необходимым для него удобрением, которое будет изготавляться на химических заводах».

Либих считается одним из основоположников агрохимии и биохимии. Он обосновал теорию минерального питания растений и создал научные основы повышения плодородия почвы. Исследовал роль углекислого газа и связанного азота в физиологии растений. Изучал проблемы питания, предложил делить пищевые продукты на жиры, белки и углеводы, установил, что жиры и углеводы служат для организма своего рода топливом. Человечество обязано Либиху многим. Своими открытиями он обеспечил основу пропитания населения планеты: изобрел минеральные удобрения, разработал рецепт хлеба из муки грубого помола с отрубями и мясной экстракт, изобрел пекарский порошок и кофейный экстракт, разработал некоторые виды детского питания.

Либих коренным образом перестроил существовавшую до него систему преподавания химии, введя в широком масштабе лабораторные занятия и самостоятельные исследования студентов. Его система распространилась за пределы Германии и до сих пор является общепринятой во многих странах.

Среди основных его трудов «Органическая химия в ее приложениях к физиологии и патологии» (Die organische Chemie in ihrer Anwendung auf Physiologie und Pathologie, 1842), и «Естественные законы земледелия» (The natural laws of husbandry, 1865).

Либих обобщил свои представления и результаты исследований в тезисах, вышедших в 1855 г. Тогда же и появилось выражение «закон минимума Либиха», хотя сам Либих ни о каком законе не говорил. Он писал: «Если в почве или в атмосфере один из элементов, участвующих в питании растений, находится в недостаточном количестве или не обладает достаточной усвояемостью, растение не развивается или развивается плохо. Элемент,

полностью отсутствующий или не находящийся в нужном количестве, препятствует прочим питательным соединениям произвести их эффект, или, по крайней мере, уменьшает их питательное действие... Отсутствие или недостаток одного из необходимых элементов при наличии в почве всех прочих делает последнюю бесплодной для всех растений, для жизни которых этот элемент необходим».

В простейшем виде, применительно к конкретным опытам ученого, закон минимума Либиха гласит: «Рост растения зависит от того элемента питания, который присутствует в минимальном количестве (минимуме)». В современной формулировке закон минимума звучит так: выносливость организма определяется самым слабым звеном в цепи его экологических потребностей. Жизненные возможности лимитируют экологические факторы, количество и качество которых близки к необходимому организму или экосистеме минимуму. Отсюда следует важный вывод: дальнейшее снижение действия необходимого фактора ведет к гибели организма либо к разрушению экосистемы в целом.

Закон минимума Либиха можно пояснить на таких примерах. Пусть в почве содержатся все элементы минерального питания, необходимые для данного вида растений, кроме одного из них, например бора или цинка. Рост растений на такой почве будет сильно угнетен или вообще невозможен. Если же мы добавим в почву нужное количество бора (цинка), это приведет к увеличению урожая. Но если мы будем вносить любые другие химические соединения (например, азот, фосфор, калий) и даже добьемся того, что все они будут содержаться в оптимальных количествах, а бор (цинк) будет отсутствовать - это не даст никакого эффекта. Точно также если кислотность (рН) почвы отклоняется от оптимума, например для озимой ржи, то никакие агротехнические мероприятия, кроме снижающего кислотность известкования, не помогут существенно увеличить урожайность этой культуры.

Следует заметить, что наиболее четко закон минимума соблюдается тогда, когда речь идет о незаменимых ресурсах. Например, если растению не хватает фосфора, то повысить урожай этого растения выше некоторого предела невозможно, даже если фосфор заменить увеличенной дозой натрия, азота, калия, либо какого-нибудь другого элемента. Поскольку функции фосфора в биохимических процессах не могут выполняться никакими другими элементами, очевидно, что именно фосфор следует добавить, чтобы урожай превысил достигнутый ранее предел.

При формулировке своих обобщений Либих пользовался определением «лимитирующий» по отношению к факторам среды. В экологии под лимитирующим (ограничивающим) фактором понимается любой фактор, который ограничивает процесс развития или существования организма, вида или сообщества. Им может быть любой из действующих в природе экологических факторов: вода, тепло, свет, ветер, рельеф, содержание в почве необходимых для жизнедеятельности растений солей и химических элементов, а в водной среде - химизм и качество воды, количество доступного кислорода и углекислого газа. Такими факторами могут быть конкуренция со стороны другого вида, присутствие хищника или паразита.

В Мировом океане, к примеру, развитие жизни лимитируется главным образом недостатком азота и фосфора. Поэтому любой подъем на поверхность донных вод, обогащенных этими минеральными элементами, оказывает благотворное влияние на развитие жизни. Особенно ярко это проявляется в тропических и субтропических районах. Такое явление подъема глубинных океанических вод к поверхности называется апвеллингом (от англ. up - наверх и to well - хлынуть). Зоны апвеллинга встречаются там, где ветры постоянно отгоняют воду от крутого берегового склона. Холодная вода, поднимаясь с глубин океана, несет с собой накопленные биогенные элементы. Именно поэтому в таких зонах продуктивность выше. Здесь наблюдается значительное увеличение численности популяций рыб. Процесс апвеллинга поддерживает также и многочисленные популяции морских птиц, которые откладывают на берегах и островах огромные массы так называемого гуano, богатого нитратами и фосфатами. Зоны апвеллинга - это наиболее рыбопродуктивные области океанов, где особенно развит рыбный промысел.

Изучая различное лимитирующее действие экологических факторов на насекомых, американский зоолог Виктор Шелфорд (1877-1968) пришел к выводу, что лимитирующими

может быть не только недостаток, но и избыток таких факторов, как свет, тепло, вода. В экологии такое положение носит название закона толерантности Шелфорда, сформулированного им в 1913 г. Он гласит: «Лимитирующим фактором, ограничивающим развитие организма, может быть как минимум, так и максимум экологического воздействия». Диапазон между этими величинами определяет величину выносливости организма. Каждый организм можно характеризовать экологическим минимумом и экологическим максимумом.

Диапазон толерантности по каждому фактору ограничен его минимальными и максимальными значениями, в пределах которых только и может существовать данный организм (рис. 3.5).

Благоприятный диапазон действия экологического фактора называется зоной оптимума (нормальной жизнедеятельности). Чем значительнее отклонение действия фактора от оптимума, тем больше данный фактор угнетает жизнедеятельность популяции. Этот диапазон называется зоной угнетения. Максимально и минимально переносимые значения фактора - это критические точки, за пределами которых существование организма или популяции уже невозможно.

Для выражения степени толерантности в экологии применяются термины, использующие приставки стено- (узкий) и эври- (широкий). Маловыносливые организмы, узкоограниченные каким-либо экологическим фактором и способные обитать только в условиях устойчивого постоянства этого фактора называют стенобионтами. К ним обычно принадлежат многие паразиты, виды, обитающие на океанических глубинах, в пещерах, тропических лесах. Напротив, организмы, способные существовать при широких амплитудах изменчивости факторов окружающей среды, называют эврибионтами. Они способны выносить широкую амплитуду интенсивности различных экологических факторов. К ним относятся многие наземные животные. Например, ареал обитания лисицы распространяется от лесотунды до степей.

Если хотят подчеркнуть отношение организма к конкретному фактору, то используют термины, первая часть которых образована приставками стено- или эври-, а вторая содержит указание на конкретный фактор, например: эвритеческие организмы, имеющие широкий температурный интервал (многие насекомые), стенотермные организмы, приспособившиеся к узкой амплитуде температур (для растений тропических лесов колебания температуры в пределах +5... +8 °C могут быть губительными) (рис. 3.6).

Таким образом, по отношению к определенным экологическим факторам организмы могут подразделяться:

- на стенотермные - эвритеческие (по отношению к температуре);
- стеногидрические - эвригидрические (по отношению к воде);
- стеногалинные - эвригалинные (по отношению к солености);
- стенофагные - эврифагные (по отношению к пище);
- стеноийкные - эвриойкные (по отношению к местообитанию);
- стенобатные - эврибатные (по отношению к давлению воды).

Как отмечают многие экологи, смысл закона толерантности вполне понятен. Плохо как недокормить, так и перекормить растение либо животное. Из этого закона вытекает следующее: любой избыток вещества или энергии является загрязняющим среду компонентом. Например, в засушливых областях избыток воды вреден, и вода может рассматриваться как обычный загрязнитель.

Концепция лимитирующих факторов оказалась весьма важной и полезной для экологов, вынужденных принимать решения в экстремальных ситуациях. Как известно, взаимоотношения между средой и организмом в природе весьма сложны, многообразны и отличаются поливариантностью. Экологу подчас весьма трудно принять правильное решение, касающееся какой-либо ситуации или вида организма. Однако в каждой конкретной ситуации всегда возможно выделить наиболее слабые связи между организмами, составляющими сообщество, либо между организмами и средой. Следующий шаг - концентрация внимания на тех факторах внешней среды, которые с наибольшей вероятностью могут оказаться либо лимитирующими, либо критическими.

Изучая рыб, обитающих в пруду, который получает нагретую воду от электростанции, исследователи констатировали повышенную смертность в их популяции. Анализ показал, что температура воды является лимитирующим фактором, сдерживающим размножение и сохранение популяции. Рыбы вынуждены были тратить всю энергию или большую ее часть на преодоление теплового стресса. В связи с этим им не хватало энергии на добывание пищи и на деятельность, связанную с размножением.

Итак, для каждого вида существуют пределы значений жизненно необходимых факторов абиотической среды, которые ограничивают зону его толерантности (устойчивости).

Живой организм может существовать в некотором определенном интервале значений факторов. Чем шире этот интервал, тем больше устойчивость или толерантность данного организма. Закон толерантности является одним из основополагающих принципов современной экологии.

#### **Лекция 4 (Л-4) Реакция организмов на изменение уровня экологических факторов**

1. Изменчивость
2. Адаптация

##### **3. Жизненные формы**

##### **Основные вопросы:**

1. Изменчивость

**Изменчивость** — разнообразие признаков среди представителей данного вида, а также свойство потомков приобретать отличия от родительских форм. Изменчивость вместе с наследственностью представляют собой два неразрывных свойства живых организмов, являющихся предметом изучения науки генетики<sup>[1]</sup>.

Различают несколько типов изменчивости:

- Наследственную (генотипическую) и ненаследственную (фенотипическую, паратипическую).
- Индивидуальную (различие между отдельными особями) и групповую (между группами особей, например, различными популяциями данного вида). Групповая изменчивость является производной от индивидуальной.
- Качественную и количественную.
- Направленную и ненаправленную.

##### **2. Адаптация**

**Адаптация** (лат. «приспособление») — приспособление организмов к среде. Этот процесс охватывает строение и функции организмов (особей, видов, популяций) и их органов. Адаптация всегда развивается под воздействием трех основных факторов — изменчивости, наследственности и естественного отбора (равно как и искусственного — осуществляемого человеком).

Основные адаптации организмов к факторам внешней среды наследственно обусловлены. Они формировались на исто-рико-эволюционном пути биоты и изменялись вместе с изменчивостью экологических факторов. Организмы адаптированы к постоянно действующим периодическим факторам, но среди них важно различать первичные и вторичные.

Первичные — это те факторы, которые существовали на Земле еще до возникновения жизни: температура, освещенность, приливы, отливы, естественные геофизические поля и др. Адаптация организмов к этим факторам наиболее древняя и наиболее совершенная.

Вторичные периодические факторы являются следствием изменения первичных: влажность воздуха, зависящая от температуры; растительная пища, связанная с цикличностью в развитии растений; ряд биотических факторов внутривидового влияния и др. Они возникли позднее первичных и адаптация к ним не всегда четко выражена.

В нормальных условиях в местообитании должны действовать только периодические факторы, непериодические — отсутствовать.

Непериодические факторы обычно воздействуют катастрофически: могут вызвать болезни или даже смерть живого организма. Человек использовал это в своих интересах, искусственно вводя непериодические факторы: например, химическая отрава уничтожает

вредные для него организмы: паразитов, вредителей сельхозкультур, болезнетворные бактерии, вирусы и т. п. Но оказалось, что длительное воздействие этого фактора также может вызвать адаптацию к нему: насекомые адаптировались к ДДТ, бактерии и вирусы — к антибиотикам, и т. д.

Источником адаптации являются генетические изменения в организме — мутации, возникающие как под влиянием естественных факторов на историко-эволюционном этапе, так и в результате искусственного влияния на организм. Мутации разнообразны и их накопление может даже привести к дезин-теграционным явлениям, но благодаря отбору мутации и их комбинирование приобретают значение «ведущего творческого фактора адаптивной организации живых форм».

На историко-эволюционном пути развития на организмы действуют абиотические и биотические факторы в комплексе. Известны как успешные адаптации организмов к этому комплексу факторов, так и «безуспешные», т. е. вместо адаптации вид вымирает.

Прекрасный пример успешной адаптации — эволюция лошади в течение примерно 60 млн лет от низкорослого предка до современного красивейшего быстроногого животного с высотой в холке до 1,6 м. Противоположный этому пример — сравнительно недавнее (десятки тысяч лет назад) вымирание мамонтов. Высокоаридный, субарктический климат последнего оледенения привел к исчезновению растительности, которой питались эти животные, кстати, хорошо приспособленные к низким температурам. Кроме того, высказываются мнения, что в исчезновении мамонта «повинен» и первобытный человек, которому тоже надо было выжить: мясо мамонтов употреблялось им в качестве пищи, а шкура спасала от холода.

В приведенном примере с мамонтами недостаток растительной пищи вначале ограничивал численность мамонтов, а ее исчезновение привело к их гибели. Растительная пища выступала здесь в виде лимитирующего фактора. Эти факторы играют важнейшую роль в выживании и адаптации организмов.

### 3. Жизненные формы

Комплекс экологических факторов, составляющий специфику любого местообитания, требует от населяющих это место организмов и комплекса специфических приспособлений. Поэтому в процессе исторического развития животные и растения приобрели специфические черты, затрагивающие особенности строения, обмена веществ, динамику жизненных процессов и т. п. Все эти особенности определяют внешний облик организмов. В природе можно часто видеть, как разные виды приспособливаются к сходным условиям среды. Такие типы приспособления выражаются в определенном морфологическом строении организмов и называются жизненными формами.

Жизненная форма — внешний облик живых организмов, отражающий их приспособленность к определенным условиям среды. Разнообразные жизненные формы отражают отношение различных видов к среде обитания.

Жизненные формы выделяются как среди животных, так и среди растений. У животных они поразительно разнообразны, поскольку, во-первых, животные в отличие от растений более динамически лабильны (растениям присущ главным образом оседлый способ существования) и, во-вторых, форма их существования непосредственно зависит от поиска, качества и способа добывания ими пищи. Животные обычно все время подвижны и активны в добывании пищи (исключение составляют отдельные животные водной среды, ведущие сидячий образ жизни). В основу классификации жизненных форм животных могут быть положены разные критерии (способы передвижения, добывания пищи и ее характер, степень активности, приуроченность к определенному ландшафту т. д.).

Один из крупнейших современных экологов Д. Н. Кашкаров так определяет жизненную форму животных: «Тип животного, находящийся в полной гармонии с окружающими условиями, мы называем жизненной формой. В жизненной форме, как в зеркале, отражаются главнейшие, доминирующие черты места обитания».

Итак, на формирование жизненных форм животных основное влияние оказывает их образ жизни. В связи с этим предложено довольно большое количество систем жизненных форм животных. Их выделяют по способам передвижения (например, жизненная форма прыгунов

представлена тушканчиками и кенгуру); по способам и месту размножения (живородящие, яйцекладущие, размножающиеся под землей, на поверхности земли и т.п.); иные жизненные формы систематизируются по способам питания (растительноядные, хищники, всеядные и т.д.).

Разнообразие классификаций жизненных форм животных объясняется множеством критериев и принципов, которые положены в основу классификации. У зоологов (а теперь и у экологов) наибольшее распространение получила система жизненных форм Д.Н. Кашкарова. Всех животных он разделил на следующие группы.

I. Плавающие формы:

1. Чисто водные.

2. Полуводные.

II. Роющие формы:

1. Абсолютные землерои.

2. Относительные землерои.

III. Наземные формы:

1. Не делающие нор.

2. Делающие норы.

3. Животные скал.

IV. Древесные лазающие формы.

V. Воздушные формы.

Значительно более унифицирована система жизненных форм растений. Кстати, сам термин «жизненная форма» и его определение были введены в экологию именно при исследовании растительности. Это сделал датский ботаник Йоханнес Варминг в 1884 г. Он определял жизненную форму как форму, в которой вегетативное тело растения находится в гармонии с внешней средой в течение всей жизни.

В основу выделения жизненных форм растений кладут пластичные признаки, такие, как форма роста, ритм сезонного развития, степень защищенности от неблагоприятных условий наиболее уязвимых частей тела растения. Основными жизненными формами растений можно считать травянистые и древесные формы. Деревья, кустарники и травы в качестве отдельных форм растений выделял еще Теофраст. Начало изучению жизненных форм положил немецкий естествоиспытатель Александр Гумбольдт. Он предложил выделять те жизненные формы, которые характеризуют физиономичность ландшафта: деревья, кустарники, травы, лианы и т.д. Так, в качестве особых, он выделял формы кактусов, составляющих облик пейзажа в Мексике, хвойных, определяющих вид тайги, бананов, пальм, злаков.

Затем жизненные формы начали классифицировать по экологическим признакам. Наиболее широко распространена система жизненных форм, предложенная еще одним датским экологом и геоботаником Кристианом Раункиером в 1905 г. Классификация Раункиера, разработана в основном применительно к растениям умеренного пояса с неблагоприятным зимним сезоном. Этой классификацией широко пользуются и в регионах с неблагоприятным сухим сезоном.

По утверждению Раункиера реакцию растения на климат лучше всего характеризует высота, на которой оно располагает органы возобновления (почки, клубни, луковицы, корневища). Выбор высоты, на которой размещаются почки возобновления, позволяет растению лучше перенести неблагоприятное время года. Чем сложнее климатические условия (засушливый период, длительная холодная зима), тем ниже располагаются листья растений.

Таким образом, классификация жизненных форм Раункиера основана на положении почек возобновления (или верхушек побегов) по отношению к поверхности почвы в неблагоприятных условиях (зимой или в засушливый период). Все растения были подразделены Раункиером на пять главных типов.

1. Фанерофиты (от греч. *phaneros* - видимый, открытый, явный) - почки возобновления находятся высоко над поверхностью почвы. Это деревья, кустарники, деревянистые лианы.

2. Хамефиты (от греч. *chamai* - на земле) - почки возобновления находятся невысоко (20-25 см) над поверхностью почвы и, как правило, зимой защищены снежным покровом. Сюда относятся карликовые кустарники, кустарнички, полукустарнички, некоторые многолетние травы (например, *черника*, *седмичник*), *мхи*.

3. Гемикриптофиты (от греч. *hemi* - полу- и *cryptos* - скрытый) - почки возобновления в неблагоприятный для вегетации растений период года находятся на уровне почвы. Они защищены чешуями, опавшими листьями и снежным покровом. Стебли многих растений умеренной зоны могут отмирать на зиму, а летом снова отрастают. Часто почки возобновления таких растений окружает розетка зимующих листьев (подорожник). К этой группе относятся в основном многолетние травянистые растения средних широт: *лютики*, *одуванчик*, *крапива*, *дводомная*.

4. Криптофиты (от греч. *kryptos* - скрытый) - почки возобновления закладываются в виде луковиц, клубней, корневищ, с помощью которых растения переживают неблагоприятный период. Эти органы могут располагаться на некоторой глубине в почве (геофиты) либо под водой (гидрофиты).

5. Терофиты (от греч. *theros* - лето) - главным образом однолетники, переживающие неблагоприятный период года в виде семян. Такие однолетники, а также однолетние растения с очень укороченным сроком развития (эфемеры) составляют важную часть флоры пустынь и полупустынь. В других климатических зонах эти растения представляют группу сорных трав.

Особую группу среди жизненных форм составляют растения, которые присутствуют одновременно во многих ярусах биоценоза, и отнести их к какой-то конкретной жизненной форме довольно затруднительно. Это растения-эпифиты - избравшие для себя другие растения в качестве среды обитания (они не являются паразитами!), а также различные лианы. К таким растениям относятся лишайники и мхи на стволах деревьев, многообразие лиан в тропических лесах, а также наши доморошенные лианы, такие, как хмель, паслен сладкогорький, плющ и др. Эти растения образуют группу внеярусной растительности.

Следует отметить, что один и тот же вид растений в различных условиях может иметь разные жизненные формы. Например, дуб и ель в лесной зоне или лесном пояссе гор представляют собой обычные высокоствольные деревья, в то время как на Крайнем Севере они образуют кустарниковые и стеллажные формы.

Распределение жизненных форм растений, характерное для определенного географического региона, выраженное в процентах, называется спектром жизненных форм (табл. 3.4). Анализ глобальных данных о всех сосудистых растениях мира позволил получить так называемый глобальный, или нормальный спектр. Спектры для отдельных регионов Земного шара отражают воздействия факторов среды на характер адаптации растений в сообществах.

Таким образом, хорошо видно, что зона тропического дождевого леса, это зона фанерофитов, в умеренной зоне господствуют гемикриптофиты, а в пустыне - терофиты.

Кроме классификации Раункиера имеются и другие классификационные построения жизненных форм. В качестве примера можно привести наиболее разработанную подробную классификацию И.Г. Серебрякова. Он выделял типы, отделы, классы, подклассы, группы, подгруппы и секции жизненных форм. Серебряков создал целое научное направление - «экологическую систематику растений».

В основе системы Серебрякова лежит онтогенез, т.е. индивидуальное развитие побега в конкретных условиях существования. Так, в классификации Серебрякова выделяются типы: кустарники, кустарнички, деревья, монокарпические травы (монокарпики цветут и плодоносят один раз в жизни), поликарпические травы и т.д. Например, в типе поликарпических трав выделяются стержнекорневые подикарники, дерновые многолетники и др. Следует отметить, что понятие жизненной формы следует отличать от понятия экологической группы организмов. Жизненная форма отражает весь спектр экологических факторов, к которым приспособливается тот или иной организм, и характеризует специфику определенного местообитания. Экологическая же группа обычно узко специализирована в отношении отдельного фактора среды: света, влаги, тепла и т.д. (уже упоминавшиеся нами

гигрофиты, мезофиты, ксерофиты - группы растений по отношению к влажности; олиготрофы, мезотрофы, эвтрофы - группы организмов по отношению к трофности, плодородию почв и т.п.).)

Изучение многообразия жизненных форм позволяет глубже познать структуру и динамику сообщества, а также дать экологическую оценку местообитанию. Жизненные формы, преобладающие в сообществе, могут служить довольно точными индикаторами условия местообитания.

### Лекция 5 (Л-5) Учение о биосфере

- 1.Понятие биосферы, ее границы
- 2.Состав биосферы.
- 3.Живое вещество
- 4.Ноосфера

#### Основные вопросы:

- 1.Понятие биосферы, ее границы

**Биосфера** — оболочка Земли, заселённая живыми организмами, находящаяся под их воздействием и занятая продуктами их жизнедеятельности; «пленка жизни»; глобальная экосистема Земли.

Биосфера — оболочка Земли, заселённая живыми организмами и преобразованная ими. Биосфера сформировалась 500 млн. лет назад, когда на нашей планете стали зарождаться первые организмы. Она проникает во всю гидросферу, верхнюю часть литосферы и нижнюю часть атмосферы, то есть населяет экосферу. Биосфера представляет собой совокупность всех живых организмов. В ней обитает более 3 миллионов видов растений, животных, грибов и бактерий. Человек тоже является частью биосферы, его деятельность превосходит многие природные процессы и, как сказал В. И. Вернадский: «Человек становится могучей геологической силой».

Термин «биосфера» был введён в биологии Жаном-Батистом Ламарком в начале XIX века.

А в геологии термин был предложен австрийским геологом Эдуардом Зюссом в 1875 году.

Целостное учение о биосфере создал биогеохимик и философ В. И. Вернадский. Он впервые отвёл живым организмам роль главнейшей преобразующей силы планеты Земля, учитывая их деятельность не только в настоящее время, но и в прошлом.

Существует и другое, более широкое определение: Биосфера — область распространения жизни на космическом теле. Существование жизни на других космических объектах, помимо Земли пока неизвестно, считается, что биосфера может распространяться на них в более скрытых областях, например, в литосферных полостях или в подлёдных океанах. Так, например, рассматривается возможность существования жизни в океане спутника Юпитера Европы.

#### Границы биосферы

□ **Верхняя граница в атмосфере:** 15-20 км. Она определяется озоновым слоем, задерживающим коротковолновое УФ-излучение, губительное для живых организмов.

□ **Нижняя граница в литосфере:** 3,5—7,5 км. Она определяется температурой перехода воды в пар и температурой денатурации белков, однако в основном распространение живых организмов ограничивается вглубь несколькими метрами.

□ **Граница между атмосферой и литосферой в гидросфере:** 10—11 километров. Определяется граница биосферы дном Мирового Океана, включая донные отложения.

#### Состав биосферы

Биосферу слагают следующие типы веществ:

1. **Живое вещество** — вся совокупность тел живых организмов, населяющих Землю, физико-химически едина, вне зависимости от их систематической принадлежности. Живое вещество распределено в пределах биосферы очень неравномерно.

**Живое вещество** — вся совокупность тел живых организмов в биосфере, вне зависимости от их систематической принадлежности.

Это понятие не следует путать с понятием «биомасса», которое является частью биогенного вещества.

Термин введен В. И. Вернадским.

Выделяют пять основных функций живого вещества:

1. **Энергетическая**. Заключается в поглощении солнечной энергии при фотосинтезе, а химической энергии — путем разложения энергонасыщенных веществ и передаче энергии по пищевой цепи разнородного живого вещества.

2. **Концентрационная**. Избирательное накопление в ходе жизнедеятельности определенных видов вещества. Выделяют два типа концентраций химических элементов живым веществом: а) массовое повышение концентраций элементов в среде, насыщенной этими элементами, например, серы и железа много в живом веществе в районах вулканизма; б) специфическую концентрацию того или иного элемента вне зависимости от среды.

3. **Деструктивная**. Заключается в минерализации необиогенного органического вещества, разложении неживого неорганического вещества, вовлечении образовавшихся веществ в биологический круговорот.

4. **Средообразующая**. Преобразование физико-химических параметров среды (главным образом за счет необиогенного вещества).

5. **Транспортная**. Перенос вещества против силы тяжести и в горизонтальном направлении.

2. **Биогенное вещество** — вещество, создаваемое и перерабатываемое живым веществом. На протяжении органической эволюции живые организмы тысячекратно пропустили через свои органы, ткани, клетки, кровь всю атмосферу, весь объем мирового океана, огромную массу минеральных веществ. Эту геологическую роль живого вещества можно представить себе по месторождениям угля, нефти, карбонатных пород и т. д.

3. **Косное вещество** — продукты, образующиеся без участия живых организмов.

4. **Биокосное вещество**, которое создается одновременно живыми организмами и косными процессами, представляя динамически равновесные системы тех и других. Таковы почва, ил, кора выветривания и т. д. Организмы в них играют ведущую роль.

5. Вещество, находящееся в радиоактивном распаде.

6. Рассеянные атомы, непрерывно создающиеся из всякого рода земного вещества под влиянием космических излучений.

7. Вещество космического происхождения.

Современная биосфера наряду с живым веществом включает в себя полностью гидросферу, верхнюю часть литосферы и нижнюю часть атмосферы.

Гидросфера. Эта геосфера представляет собой совокупность океанов, морей, озер, рек, подземных вод и ледников. Она образует прерывистую водную оболочку Земли, занимающую более 70% ее поверхности. Масса гидросферы распределена крайне неравномерно: 98,3% ее составляет Мировой океан, 1,6% связана в материковых льдах и лишь 0,1% приходится на воды материков.

Мировой океан, являющийся основной частью гидросферы, служит средой обитания огромного количества самых разнообразных представителей растительного и животного мира и мира микроорганизмов. Все морские организмы делят на три большие группы: планктон, нектон и бентос. Планктон — самая большая по числу видов группа организмов, включающая в себя растения и животных, не способных самостоятельно передвигаться, «парящих» в толще воды и перемещаемых течениями. Планктон подразделяют на фито- и зоопланктон. Основная масса фитопланктона сосредоточена в поверхностном (50–80-метровом) слое воды океанов, где достаточно для фотосинтеза солнечного света. К нектону относятся животные, способные самостоятельно передвигаться в воде (рыбы, водные млекопитающие, кальмары и др.). Организмы, прикрепленные ко дну водоемов, ползающие по нему и зарывающиеся в него, относят к бентосу, который подразделяется на фитобентос (разнообразные многоклеточные водоросли) и зообентос (губки, черви, моллюски и другие беспозвоночные).

Масса живого вещества в гидросфере распределена крайне неравномерно. Наибольшую биомассу имеет фитопланктон, области концентрации которого занимают около 10% площади Мирового океана, и в основном расположены на шельфах. Так как для большинства представителей нектона и зообентоса фитопланктон является основным или единственным источником пищи, распределение областей их концентрации приурочено к ареалам фитопланктона.

Литосфера. В современном понимании литосфера – верхняя твердая оболочка Земли, толщина которой колеблется в пределах 50–200 км. Верхняя часть литосферы образует земную кору, а нижняя – верхнюю часть мантии Земли. Земная кора, представляющая собой, в отличие от гидросферы, сплошную оболочку планеты, состоит из трех слоев: осадочного, гранитного и базальтового. Осадочный слой в основномложен осадочными породами (глинами, песчаниками, известняками, доломитами, гипсами и др.), образовавшимися на поверхности Земли в основном в результате отложения продуктов выветривания и разрушения более древних пород, химического и механического выпадения осадка из воды, а также продуктов жизнедеятельности организмов. Мощность осадочного слоя крайне изменчива: в одних местах он отсутствует, в других – достигает толщины 20–25 км. Общий объем этого слоя составляет около 10% от объема всей земной коры, причем основная часть слагающих его пород приходится на материки и шельфы океанов.

Нижняя граница биосферы проходит в самой верхней части земной коры. Отчетливое распространение жизни отмечается здесь лишь до глубины в несколько десятков метров, однако с подземными водами микроорганизмы распространяются до глубин 2–3 км, хотя известны случаи обнаружения микроорганизмов в нефтяных водах и нефти, добываемых при бурении скважин с глубин более 4 км.

С точки зрения концентрации живого вещества биосфера особый интерес представляет почвенный слой, толщина которого в различных ландшафтных и климатических зонах изменяется в широких пределах (от нескольких сантиметров до 1–1,5 м). Практически вся растительность суши, а, следовательно, и весь ее животный мир связаны с почвой как необходимым источником пищи. Важнейшим свойством почвы является ее плодородие, т.е. способность обеспечить необходимые условия для жизни растений. Большое значение в плодородии почв играет гумус, состоящий преимущественно из продуктов биохимического разложения отмерших остатков организмов. Почва является местом обитания огромного количества микроорганизмов, водорослей, простейших, насекомых, червей и других беспозвоночных животных и большого количества позвоночных животных.

Атмосфера. Третья геосфера Земли, с которой связана биосфера – это атмосфера, представляющая собой газовую оболочку Земли, состоящую из азота (78,08% объема), кислорода (20,95%), аргона (0,93%) и углекислого газа (0,03%). На долю остальных газов приходится около 0,01% общего объема атмосферы. С удалением от поверхности Земли плотность атмосферы постепенно уменьшается до высоты около 3 тыс. км, где ее плотность становится равной плотности межпланетного пространства. Обычно атмосферу представляют в виде совокупности слоев – тропосферы, стратосферы и ионосферы. Тропосфера, заключающая в себе около 80% массы всей атмосферы и практически весь водяной пар, простирается до высоты приблизительно 9 км (на полюсах) – 17 км (на экваторе). В нижней части стратосферы, простирающейся от верхней границы тропосферы до высоты около 50 км, располагается озоновый слой, для которого характерно повышенное содержание озона. Концентрация озона на высотах расположения озонового слоя 15–26 км более чем в 100 раз превышает его концентрацию у поверхности Земли.

В качестве верхней границы биосферы принимается нижняя граница озонового слоя, почти полностью поглощающего губительные для всего живого ультрафиолетовые лучи. Вот почему часто озоновый слой называют “озоновым щитом”, защищающим жизнь на Земле. Здесь будет нeliшним заметить, что включение в биосферу нижней атмосферы является несколько условным, так как нахождение организмов в ней на значительных высотах над земной поверхностью в большинстве случаев может быть временным, а истинной средой

обитания их служит гидросфера, верхняя часть земной коры и тонкий слой приземной атмосферы.

#### Распределение биогеоценозов на Земле

Биогеоценоз — структурная и функциональная элементарная единица биосфера. Представляет собой устойчивую саморегулирующуюся экологическую систему, в которой органические компоненты (животные, растения) неразрывно связаны с неорганическими (вода, почва). Например, озеро, сосновый лес, горная долина. Учение о биогеоценозе разработано Владимиром Сукачёвым в 1940 году. Изучением закономерностей распределения биогеоценозов по поверхности Земли занимается биогеография.

Расположение биоценозов на Земле носит ярко выраженную зональную структуру, связанную с изменением тепловых условий на различных широтах. Природные зоны вытянуты в широтном направлении и сменяют друг друга при движении по меридиану. Собственная, высотная, зональность формируется в горных системах; в мировом же океане хорошо просматривается смена экологических сообществ с глубиной. Природные зоны тесно связаны с понятием ареала – области распространения данного вида организмов.

Земная суши разделена на 13 основных широтных поясов: арктический и антарктический, субарктический и субантарктический, северный и южный умеренные, северный и южный субтропические, северный и южный тропические, северный и южный субэкваториальные и экваториальный.

Рассмотрим основные биогеографические зоны суши. Территорию вокруг полюсов охватывают холодные арктические (в Южном полушарии – антарктические) пустыни. Они отличаются крайне суровым климатом, обширными ледниками покровами и каменистыми пустынями, неразвитыми почвами, скучностью и однообразием живых организмов.

Южнее арктических пустынь расположена тундра; в Южном полушарии тундра представлена лишь на некоторых субантарктических островах. Холодный климат и почвы, подстилаемые вечной мерзлотой, определяют здесь преобладание мхов, лишайников, травянистых растений и кустарничков. Вблизи морей и океанов тундра и лесотундра сменяются зоной океанических лугов.

Южнее лесотундры начинаются леса умеренной зоны; сначала хвойные, затем – смешанные, и наконец, широколистственные. Умеренные леса занимают громадные территории в Евразии и Северной Америке. Климат здесь значительно теплее, и видовое разнообразие больше в несколько раз, чем в тундре. На подзолистых почвах доминируют крупные деревья – сосна, ель, кедр, лиственница, южнее – дуб, бук, берёза. Среди животных распространены хищные (волк, лиса, медведь, рысь), копытные (олени, кабаны), певчие птицы, отдельные группы насекомых.

Зону умеренных лесов сменяют лесостепь и затем степь. Климат становится теплее и засушливее, среди почв наибольшее распространение получают чернозёмы и каштановые почвы. Преобладают злаки, среди животных – грызуны, хищные (волк, лисица, ласка), хищные птицы, пресмыкающиеся, жуки. Большой процент степей занят сельскохозяйственными угодьями. Степи распространены на Среднем западе США, на Украине, в Казахстане.

Следующей за степью зоной является зона умеренных полупустынь и пустынь. Пустынный климат характеризуется малым количеством осадков, большими суточными колебаниями температуры. Водоёмы в пустынях, как правило, отсутствуют; лишь изредка пустыни пересекают крупные реки. Фауна отличается достаточным разнообразием, большинство видов приспособлены к обитанию в засушливых условиях.

При приближении к экватору умеренный пояс сменяют субтропики. В прибрежной полосе распространены вечнозелёные субтропические леса; вдали от моря находится лесостепь, степь и пустыни. Животный мир субтропиков характеризуется смешением умеренных и тропических видов.

Тропические влажные леса в значительной степени распаханы и используются под плантации. Крупные животные практически истреблены. Западный Индостан, Восточная Австралия, бассейн Параны в Южной Америке и Южная Африка – зоны распространения более засушливых тропических саванн и редколесий. Самая же обширная зона тропического

пояса – пустыни. Огромные пространства галечных, песчаных, каменистых и солончаковых поверхностей здесь лишены растительности. Животный мир малочисленен.

Субэкваториальные влажные леса сосредоточены в долине Ганга, южной части Центральной Африки, на северном побережье Гвинейского залива, северной части Южной Америки, в Северной Австралии и на островах Океании. В более засушливых районах их сменяют саванны. Характерные представители животного мира субэкваториального пояса – жвачные парнокопытные, хищники, грызуны, терmitы.

Ближе всего к экватору расположен экваториальный пояс. Обилие осадков и высокая температура обусловили здесь наличие вечнозелёных влажных лесов. Экваториальный пояс – рекордсмен по разнообразию видов животных и растений.

Похожие закономерности наблюдаются и в смене биогеографических зон в горах – высотной поясности. Она обусловлена изменением температуры, давления и влажности воздуха с увеличением высоты местности. Полного тождества между высотными, с одной стороны, и широтными, с другой стороны, поясами, однако, нет. Так, присущей типичной тундре смены полярных дня и ночи лишены её высокогорные аналоги в более низких широтах, а также альпийские луга.

Наиболее сложные спектры высотных поясов свойственны высокогорьям, находящимся близ экватора. К полюсам уровня высотных поясов снижаются, а их разнообразие уменьшается. Изменяется спектр высотных поясов и при удалении от берега моря.

Одни и те же природные зоны встречаются на разных материках, однако леса и горы, степи и пустыни имеют свои особенности на различных континентах. Различаются и растения и животные, приспособившиеся к существованию в этих природных зонах.

Живые организмы населяют не только сушу, но и Мировой океан. В океане обитает порядка десяти тысяч видов растений и сотни тысяч видов животных (в том числе более 15 тысяч видов позвоночных). Растения и животные заселяют в мировом океане две сильно отличающиеся друг от друга области – пелагиаль (поверхностные слои воды) и бенталь (морское дно). Широтные зоны хорошо выражены только в приповерхностных водах океана; с увеличением глубины влияние солнца и климата уменьшается, а температура воды приближается к характерным для толщи океана +4 °C.

И как было сказано, распределение биогеоценозов имеет именно зональную структуру со своими особенностями в каждой природной зоне

## 2. Состав биосферы.

Газовая оболочка складывается в основном с азота и кислорода. В невеликих количествах в ней удерживается диоксид углерода (0,03%) и озон. Состояние атмосферы оказывает большое влияние на физические, химические и биологические процессы на поверхности Земли и в водной среде. Для биологических процессов наибольшая значимость имеют: кислород, используемый для дыхания и минерализации мертвого органического вещества, диоксид углерода, который участвует в фотосинтезе, и озон, экранирующий земную поверхность от твердого ультрафиолетового излучения. Азот, диоксид углерода, пары воды образовались в значительной мере благодаря вулканической деятельности, а кислород - в результате фотосинтеза.

Биологический спектр **структуры биосферы** имеет ступенчатый характер: сообщество, популяция, организм, орган, клетка, ген.

## 3. Живое вещество

Специфика живого вещества заключается в следующем:

1. Живое вещество биосферы характеризуется огромной свободной энергией. В неорганическом мире по количеству свободной энергии с живым веществом могут быть сопоставлены только недолговечные незастывшие лавовые потоки.

2. Резкое отличие между живым и неживым веществом биосферы наблюдается в скорости протекания химических реакций: в живом веществе реакции идут в тысячи и миллионы раз быстрее.

3. Отличительной особенностью живого вещества является то, что слагающие его индивидуальные химические соединения – белки, ферменты и пр. – устойчивы только в

живых организмах (в значительной степени это характерно и для минеральных соединений, входящих в состав живого вещества).

4. Произвольное движение живого вещества, в значительной степени саморегулируемое. В. И. Вернадский выделял две специфические формы движения живого вещества: а) пассивную, которая создается размножением и присуща как животным, так и растительным организмам; б) активную, которая осуществляется за счет направленного перемещения организмов (она характерна для животных и в меньшей степени для растений). Живому веществу также присуще стремление заполнить собой все возможное пространство.

5. Живое вещество обнаруживает значительно большее морфологическое и химическое разнообразие, чем неживое. Кроме того, в отличие от неживого abiогенного вещества живое вещество не бывает представлено исключительно жидкой или газовой фазой. Тела организмов построены во всех трех фазовых состояниях.

6. Живое вещество представлено в биосфере в виде дисперсных тел – индивидуальных организмов. Причем, будучи дисперсным, живое вещество никогда не находится на Земле в морфологически чистой форме – в виде популяций организмов одного вида: оно всегда представлено биоценозами.

7. Живое вещество существует в форме непрерывного чередования поколений, благодаря чему современное живое вещество генетически связано с живым веществом прошлых эпох. При этом характерным для живого вещества является наличие эволюционного процесса, т. е. воспроизведение живого вещества происходит не по типу абсолютного копирования предыдущих поколений, а путем морфологических и биохимических изменений.

#### 4. Ноосфера

**Ноосфера** — сфера взаимодействия общества и природы, в границах которой разумная человеческая деятельность становится определяющим фактором развития (эта сфера обозначается также терминами «антропосфера», «биосфера», «биотехносфера»).

Ноосфера — предположительно новая, высшая стадия эволюции биосферы, становление которой связано с развитием общества, оказывающего глубокое воздействие на природные процессы.

В ноосферном учении человек предстаёт укоренённым в природу, а «искусственное» рассматривается как органическая часть и один из факторов (усиливающийся во времени) эволюции «естественног». Обобщая с позиции натуралиста человеческую историю, Вернадский делает вывод о том, что человечество в ходе своего развития превращается в новую мощную геологическую силу, своей мыслью и трудом преобразующую лик планеты. Соответственно, оно в целях своего сохранения должно будет взять на себя ответственность за развитие биосферы, превращающейся в ноосферу, а это потребует от него определённой социальной организации и новой, экологической и одновременно гуманистической этики.

Ноосферу можно охарактеризовать как единство «природы» и «культуры». Сам Вернадский говорил о ней как о реальности будущего, как о действительности наших дней, что неудивительно, поскольку он мыслил масштабами геологического времени. Таким образом, понятие «ноосфера» предстаёт в двух аспектах:

1. ноосфера в стадии становления, развивающаяся стихийно с момента появления человека;

2. ноосфера развитая, сознательно формируемая совместными усилиями людей в интересах всестороннего развития всего человечества и каждого отдельного человека

#### Лекция 6 (Л-6) Биогеохимические круговороты веществ в природе

1.Структура и основные типы биогеохимических циклов

2.Количественное изучение биогеохимических циклов

3.Закон биогеохимической миграции атомов и необратимости эволюции

#### Основные вопросы:

1.Биогеохимические круговороты веществ в природе

Действительно, все вещества на Земле совершают такие круговороты, называемые биохимическими циклами. Выделяют два основных цикла:

большой - геологический и малый - биотический. Большой круговорот длится долго, сотни тысяч или миллионы лет: горные породы разрушаются, выветриваются и водные потоки сносят их в Мировой океан, где они оседают на дно, лишь часть их возвращается на сушу с осадками, с организмами, которые человек извлекает из моря. Крупные геотектонические изменения (поднятие дна морей, опускание материков) вновь возвращают вещества на сушу

- и все повторяется.

Малый круговорот (биотический) является частью большого. Он идет на уровне живой природы. Питательные вещества почвы, вода, углерод идут на построение органического вещества растений и животных и участвуют в жизненных процессах. После гибели организмов отходы их жизнедеятельности вновь разлагаются на неорганические компоненты (косное вещество) организмами - редуцентами (деструкторами). И все опять повторяется: минеральные вещества идут в пищу растениям и т. д. Малые круговороты с участием живых организмов получили название биохимических циклов.

**Круговорот веществ и превращение энергии как основа существования биосфера.** Деятельность живых организмов в биосфере сопровождается извлечением из окружающей среды больших количеств минеральных веществ. После смерти организмов составляющие их химические элементы возвращаются в окружающую среду. Так возникает биогенный (с участием живых организмов) круговорот веществ в природе, т. е. циркуляция веществ между литосферой, атмосферой, гидросферой и живыми организмами. Под круговоротом веществ понимают повторяющийся процесс превращения и перемещения веществ в природе, имеющий более или менее выраженный циклический характер.

В круговороте веществ принимают участие все живые организмы, поглощающие из внешней среды одни вещества и выделяющие в нее другие. Так, растения потребляют из внешней среды углекислый газ, воду и минеральные соли и выделяют в нее кислород. Животные вдыхают кислород, выделенный растениями, а поедая их, усваивают синтезированные из воды и углекислого газа органические вещества и выделяют углекислый газ, воду и вещества непереваренной части пищи. При разложении бактериями и грибами отмерших растений и животных образуется дополнительное количество углекислого газа, а органические вещества превращаются в минеральные, которые попадают в почву и снова усваиваются растениями. Таким образом, атомы основных химических элементов постоянно совершают миграцию из одного организма в другой, из почвы, атмосферы и гидросфера — в живые организмы, а из них — в окружающую среду, пополняя, таким образом, неживое вещество биосфера. Эти процессы повторяются бесконечное число раз. Так, например, весь атмосферный кислород проходит через живое вещество за 2 тыс. лет, весь углекислый газ — за 200—300 лет.

Непрерывная циркуляция химических элементов в биосфере по более или менее замкнутым путям называется биогеохимическим циклом. Необходимость такой циркуляции объясняется ограниченностью их запасов на планете. Чтобы обеспечить бесконечность жизни, химические элементы должны совершать движение по кругу. Круговорот каждого химического элемента является частью общего грандиозного круговорота веществ на Земле, т. е. все круговороты тесно связаны между собой.

Круговорот веществ, как и все происходящие в природе процессы, требует постоянного притока энергии. Основой биогенного круговорота, обеспечивающего существование жизни, является солнечная энергия. Связанная в органических веществах энергия по ступеням пищевой цепи уменьшается, потому что большая ее часть поступает в окружающую среду в виде тепла или же тратится на осуществление процессов, происходящих в организмах. Поэтому в биосфере наблюдается поток энергии и ее преобразование. Таким образом, биосфера может быть устойчивой только при условии постоянного круговорота веществ и притока солнечной энергии.

## 2. Структура и основные типы биогеохимических циклов

**Круговорот воды.** Вода — самое распространенное вещество в биосфере. Основные ее запасы (97,1%) сосредоточены в виде солено-горькой воды морей и океанов. Остальные воды — пресные. Воды ледников и вечных снегов (т. е. вода в твердом состоянии) вместе

составляют около 2,24% (70% от запасов всей пресной воды), грунтовые воды — 0,61%, воды озер и рек соответственно 0,016% и 0,0001%, атмосферная влага—0,001%.

Вода в виде водяного пара испаряется с поверхности морей и океанов и переносится воздушными потоками на различные расстояния. Большая часть испарившейся воды возвращается в виде дождя в океан, а меньшая — на сушу. С суши вода в виде водяного пара теряется благодаря процессам испарения с ее поверхности и транспирации растениями. Вода переносится в атмосферу и в виде осадков возвращается на сушу или в океан. Одновременно с континентов в моря и океаны поступает речной сток воды.

Как видим, основу глобального круговорота воды в биосфере обеспечивают физические процессы, происходящие с участием мирового океана. Роль живого вещества в них, казалось бы, невелика. Однако на континентах масса воды, испаряемая растениями и поверхностью почвы, играет главную роль в круговороте воды. Так, в различных лесных зонах основное количество осадков образуется из водяного пара, поступающего в атмосферу благодаря суммарному испарению, и в результате такие зоны живут как бы на собственном замкнутом водном балансе. Масса воды, транспирируемая растительным покровом, весьма существенна. Так, гектар леса испаряет 20—50 т воды в сутки. Роль растительного покрова заключается также в удержании воды путем замедления ее стока, в поддержании постоянства уровня грунтовых вод и др.

Круговорот углерода. Углерод — обязательный химический элемент органических веществ всех классов. Огромная роль в круговороте углерода принадлежит зеленым растениям. В процессе фотосинтеза углекислый газ атмосферы и гидросфера ассимилируется наземными и водными растениями, а также цианобактериями и превращается в углеводы. В процессе же дыхания всех живых организмов происходит обратный процесс: углерод органических соединений превращается в углекислый газ. В результате ежегодно в круговорот вовлекаются многие десятки миллиардов тонн углерода. Таким образом, два фундаментальных биологических процесса — фотосинтез и дыхание — обусловливают циркуляцию углерода в биосфере.

Еще одним мощным потребителем углерода являются морские организмы. Они используют соединения углерода для построения раковин, скелетных образований. В дальнейшем остатки отмерших морских организмов образуют на дне морей и океанов мощные отложения известняков.

Цикл круговорота углерода замкнут не полностью. Углерод может выходить из него на довольно длительный срок в виде залежей каменного угля, известняков, торфа, сапропелей, гумуса и др.

Человек нарушает отрегулированный круговорот углерода в ходе интенсивной хозяйственной деятельности. За счет сжигания огромного количества ископаемого топлива содержание углекислого газа в атмосфере за XX век возросло на 25%. Последствием этого может стать усиление парникового эффекта.

Круговорот азота. Азот — необходимый компонент важнейших органических соединений: белков, нукleinовых кислот, АТФ и др. Основные его запасы сосредоточены в атмосфере в форме молекулярного азота, недоступного для растений, так как они способны использовать его только в виде неорганических соединений.

Пути поступления азота в почву и водную среду различны. Так, небольшое количество азотистых соединений образуется в атмосфере во время гроз. Вместе с дождовыми водами они поступают в водную или почвенную среду. Небольшая часть азотистых соединений поступает при извержениях вулканов.

К прямой фиксации атмосферного молекулярного азота способны лишь некоторые прокариотические организмы: бактерии и цианобактерии. Наиболее активными азотфиксаторами являются клубеньковые бактерии, поселяющиеся в клетках корней бобовых растений. Они переводят молекулярный азот в соединения, усваиваемые растениями. После отмирания растений и разложения клубеньков почва обогащается органическими и минеральными формами азота. Значительную роль в обогащении водной среды азотистыми соединениями играют цианобактерии.

Азотсодержащие органические вещества отмерших растений и животных, а также мочевина и мочевая кислота, выделяемые животными и грибами, расщепляются гнилостными (аммонифицирующими) бактериями до аммиака. Основная масса образующегося аммиака окисляется нитрифицирующими бактериями до нитритов и нитратов, после чего вновь используется растениями. Некоторая часть аммиака уходит в атмосферу и вместе с углекислым газом и другими газообразными веществами выполняет функцию удержания тепла планеты.

Различные формы азотистых соединений почвы и водной среды могут восстанавливаться некоторыми видами бактерий до оксидов и молекулярного азота. Этот процесс называется денитрификацией. Его результатом является обеднение почвы и воды соединениями азота и насыщение атмосферы молекулярным азотом.

Процессы нитрификации и денитрификации были полностью сбалансированы вплоть до периода интенсивного использования человеком азотных минеральных удобрений в целях получения больших урожаев сельскохозяйственных растений.

Таким образом, роль живых организмов в круговороте азота является основной.

### 3. Количество изучение биогеохимических циклов

Количественные характеристики, т. е. сколько веществ и с какой скоростью переносится по путям, указанным стрелками, изучены еще недостаточно, особенно в крупных системах. Количественные данные, приведенные для некоторых потоков в круговороте азота (рис. 4.2,Б), — это в лучшем случае оценки «в первом приближении», а многие крупные потоки мы даже не можем оценить в глобальном масштабе. Радионуклиды, которые стали доступны ученым с 1946 г., дали огромный толчок этим исследованиям, поскольку применение таких нуклидов в качестве индикаторов, или «меток», позволяет легко проследить миграции элементов. При таких исследованиях в экосистему или в отдельные организмы вводят изотоп в крайне малых количествах по сравнению с уже имеющимися в системе количествами нерадиоактивного элемента, так что в системе не происходит никаких нарушений ни за счет радиоактивности, ни за счет присутствия лишних ионов. Все, что происходит с меткой (даже самые малые количества которой выявляются благодаря ее заметному излучению), отражает то, что обычно происходит в системе с интересующим нас элементом.[ ...]

Понятие оборота, введенное в гл. 2 (с. 74), удобно для сравнения скоростей обмена между разными компонентами экосистемы. Если говорить об обмене после установления равновесия, то скорость оборота — это та часть общего количества данного вещества в данном компоненте системы, которая высвобождается (или поглощается) за определенное время, а время оборота представляет собой обратную величину, т. е. время, необходимое для полной смены всего количества этого вещества в данном компоненте экосистемы. Например, если в компоненте содержится 1000 ед. вещества и в 1 ч поступает или убывает 10 ед., то скорость оборота равна  $10/1000$ , или 0,01, т. е. 1% в 1 ч. Время оборота будет равно  $1000/10$ , или 100 ч. В геохимической литературе широко используется термин «время пребывания»; это понятие близко к понятию «время оборота»; речь идет о времени, в течение которого данное количество вещества остается в данном компоненте системы. Время оборота фосфора для двух крупных компонентов — воды и донных осадков — в трех озерах приведено в табл. 4.1. В меньших озерах время оборота меньше, по-видимому, потому, что отношение поверхности донной «грязи» к объему воды больше. Как правило в небольших и мелких озерах время оборота для воды измеряется днями или неделями, а в больших озерах — месяцами.[ ...]

Очень важный для практики вывод, вытекающий из многих интенсивных исследований круговорота биогенных элементов, состоит в том, что избыток удобрений может оказаться столь же невыгодным для человека, как и их недостаток. Если в систему вносится больше вещества, чем могут использовать активные в данный момент организмы, излишек быстро связывается почвой и отложениями или исчезает в результате выщелачивания, становясь недоступным именно в тот период, когда рост организмов наиболее желателен. Многие ошибочно полагают, что если на определенную площадь их сада или пруда рекомендуется 1 кг удобрений (или пестицида), то 2 кг принесут в два раза

больше пользы. Этим сторонникам принципа «чем больше — тем лучше» стоило бы понять принцип соотношения субсидии и стресса, отраженный на графике рис. 3.5. Субсидии неизбежно превращаются в источник стресса, если применять их неосторожно. Чрезмерное внесение удобрений в такие экосистемы, как рыболовные пруды, не только расточительно в смысле достигаемых результатов, но и может вызвать непредвиденные изменения в системе, а также загрязнить экосистемы, расположенные ниже по течению. Так как различные организмы адаптированы к разным уровням содержания элементов, продолжительное переудобрение приводит к изменениям в видовом составе организмов, причем могут исчезнуть нужные нам и появиться ненужные. В гл. 5 (с. 255—256) описан случай полной гибели устричного хозяйства из-за усиленного использования фосфорных и азотных удобрений.[ ...]

Зачем нужны все эти дикие виды организмов, которые человек не может ни съесть, ни продать? К этому вопросу мы еще вернемся в последующих главах. Как показывают сейчас наблюдения и усовершенствованные математические модели, причинно-следственные взаимоотношения между многими видами управляют переносом веществ и энергии в компоненты экосистем, которые непосредственно связаны с человеком

#### **4. Закон биогенной миграции атомов и необратимости эволюции**

##### **Закон односторонности потока энергии**

Закон односторонности потока энергии — в экологии — закон, согласно которому энергия, получаемая сообществом и усваиваемая производителями, вместе с их биомассой необратимо передается консументам первого, второго и других порядков, а затем редукторам, с падением потока на каждом из трофических уровней в результате процессов, сопровождающих дыхание.

#### **Законы биогенной миграции атомов и необратимости эволюции, законы экологии Б. Коммонера**

Закон биогенной миграции атомов (В.И. Вернадского) имеет важное теоретическое и практическое значение. Миграция химических элементов на земной поверхности и в биосфере в целом или осуществляется при непосредственном участии живого вещества (биогенная миграция), или же она протекает в среде, геохимические особенности которой ( $\text{O}_2 \text{ CO}_2 \text{ H}_2$  и т. д.) обусловлены живым веществом, как тем, которое в настоящее время населяет биосферу, так и тем, которое действовало на Земле в течение всей геологической истории. Согласно закону биогенной миграции атомов, понимание общих химических процессов, протекавших и протекающих на поверхности суши, в атмосфере и заселенных организмами глубинах литосферы и вод, а также геологических слоях, сложенных прошлой деятельностью организмов, невозможно без учета биотических факторов, в том числе эволюционных.

В ходе геологического времени развитие биосфера носило необратимый характер. В первую очередь это касается живого вещества, для которого необратимость развития стала ясной после работ Ч. Дарвина (1859). Основываясь на эволюционном учении и палеонтологических данных, знаменитый бельгийский палеонтолог Л. Долло (1857—1931) в короткой заметке «Законы эволюции» сформулировал закон необратимости эволюции: «Организм не может вернуться, хотя бы частично, к предшествующему состоянию, которое было уже осуществлено в ряде его предков».

В течение истории Земли необратимость биологической эволюции определила необратимость динамики веществ в биосфере, выявляемых по характеру древних осадков.

Б. Коммонер (1974) выдвинул ряд положений, которые сегодня называют законами экологии: 1) все связано со всем; 2) все должно куда-то деваться; 3) природа «знает» лучше; 4) ничего не дается даром.

Первый закон «Все связано со всем» отражает существование сложнейшей сети взаимодействий в экосфере. Он предостерегает человека от необдуманного воздействия на отдельные части экосистем, что может привести к непредвиденным последствиям.

Второй закон «Все должно куда-то деваться» вытекает из фундаментального закона сохранения материи. Он позволяет по-новому рассматривать проблему отходов материального производства. Огромные количества веществ извлечены из Земли,

преобразованы в новые соединения и рассеяны в окружающей среде без учета того факта, что «все куда-то девается». И как результат — большие количества веществ зачастую накапливаются там, где по природе их не должно быть.

Третий закон «Природа знает лучше» исходит из того, что «структура организма нынешних живых существ или организмов современной природной экосистемы — наилучшие в том смысле, что они были тщательно отобраны из неудачных вариантов и что любой новый вариант, скорее всего, будет хуже существующего ныне». Этот закон призывает к тщательному изучению естественных био- и экосистем, сознательному отношению к преобразующей деятельности. Без точного знания последствий преобразования природы недопустимы никакие ее «улучшения».

Четвертый закон «Ничто не дается даром», по мнению Б. Коммонера, объединяет предшествующие три закона, потому что биосфера как глобальная экосистема представляет собой единое целое, в рамках которой ничего не может быть выиграно или потеряно и которая не может являться объектом всеобщего улучшения; все, что было извлечено из нее человеческим трудом, должно быть возмещено. Платежа по этому векселю нельзя избежать; он может быть только отсрочен.

В законах Б. Коммонера обращается внимание на всеобщую связь процессов и явлений в природе: любая природная система может развиваться только за счет использования материально-энергетических и информационных возможностей окружающей ее среды. Пока мы не имеем абсолютно достоверной информации о механизмах и функциях природы, мы, подобно человеку, не знакомому с устройством часов, но желающему их починить, легко вредим природным системам, пытаясь их улучшить. Иллюстрацией здесь может служить то, что один лишь математический расчет параметров биосферы требует безмерно большего времени, чем весь период существования нашей планеты как твердого тела.

### **Лекция 7 (Л-7) Типы межвидовых взаимоотношений**

1. Симбиотические взаимоотношения
2. Антибиотические взаимоотношения
3. Конкуренция и сосуществование видов

#### **Основные вопросы:**

1. Симбиотические взаимоотношения

**Симбиоз** (греч. συμ-βίωσις — «совместная жизнь»<sup>[1]</sup> от συμ- — совместно + βίος — жизнь) — форма взаимоотношений, при которой оба партнёра или только один извлекает пользу из другого.

В природе встречается широкий спектр примеров взаимовыгодного симбиоза (мутуализм). От желудочных и кишечных бактерий, без которых было бы невозможно пищеварение, до растений (примером служат некоторые орхидеи, чью пыльцу может распространять только **один**, определённый вид насекомых). Такие отношения успешны всегда, когда они увеличивают шансы обоих партнёров на выживание. Осуществляемые в ходе симбиоза действия или производимые вещества являются для партнёров существенными и незаменимыми. В обобщённом понимании такой симбиоз — промежуточное звено между взаимодействием и слиянием.

В более широком научном понимании симбиоз — это любая форма взаимодействия между организмами разных видов, в том числе паразитизм (отношения, выгодные одному, но вредные другому симбионту). Обоюдно выгодный вид симбиоза называют мутуализмом. Комменсализмом называют отношения, полезные одному, но безразличные другому симбионту, а аменсализмом — отношения, вредные одному, но безразличные другому.

Разновидность симбиоза — эндосимбиоз (см. симбиогенез), когда один из партнёров живёт внутри клетки другого.

Наука о симбиозе — симбиология. Основы учения о взаимопомощи (в том числе симбиозе) во второй половине XIX века заложили независимо друг от друга российские естествоиспытатели П. А. Кропоткин и К. Ф. Кесслер, а также немецкий учёный Генрих Антон де Бари, предложивший термины «симбиоз» и «мутуализм».

## Мутуализм

Мутуализм — широко распространённая форма взаимополезного сожительства, когда присутствие партнёра становится обязательным условием существования каждого из них. Более общим понятием является симбиоз, который представляет собой сосуществование различных биологических видов. Но в отличие от мутуализма, симбиоз может быть и не выгоден одному из партнёров, например, в случае паразитизма.

Преимущества, которые получает организм, вступающий в мутуалистические отношения, могут быть различны. Часто по крайней мере один из партнёров использует другого в качестве пищи, тогда как второй получает защиту от врагов или благоприятные для роста и размножения условия. В других случаях вид, выигрывающий в пище, освобождает партнёра от паразитов, опыляет растения или распространяет семена. Каждый из участников мутуалистической пары действует эгоистично, и выгодные отношения возникают лишь потому, что получаемая польза перевешивает затраты, требуемые на поддержание взаимоотношений.

Взаимовыгодные связи могут формироваться на основе поведенческих реакций, например, как у птиц, совмещающих собственное питание с распространением семян. Иногда виды-мутуалисты вступают в тесное физическое взаимодействие, как при образовании микоризы (грибокорня) между грибами и растениями.

Тесный контакт видов при мутуализме вызывает их совместную эволюцию. Характерным примером служат взаимные приспособления, которые сформировались у цветковых растений и их опылителей. Часто виды-мутуалисты совместно расселяются.

## Комменсализм

В зависимости от характера взаимоотношений видов-комменсалов выделяют три вида комменсализма:

- комменсал ограничивается использованием пищи организма другого вида (например, в извивах раковины рака-отшельника обитает кольчатый червь из рода *Nereis*, питающийся остатками пищи рака);
- комменсал прикрепляется к организму другого вида, который становится «хозяином» (например, рыба-прилипала плавником-присоской прикрепляется к коже акул и др. крупных рыб, передвигаясь с их помощью);
- комменсал селится во внутренних органах хозяина (например, некоторые жгутиконосцы обитают в кишечнике млекопитающих).

Примером комменсализма могут служить бобовые (например, клевер) и злаки, совместно произрастающие на почвах, бедных доступными соединениями азота, но богатых соединениями калия и фосфора. При этом если злак не подавляет бобовое, то оно в свою очередь обеспечивает его дополнительным количеством доступного азота. Но подобные взаимоотношения могут продолжаться только до тех пор, пока почва бедна азотом и злаки не могут сильно разрастаться. Если же в результате роста бобовых и активной работы азотфиксирующих клубеньковых бактерий в почве накапливается достаточное количество доступных для растений соединений азота, этот тип взаимоотношений сменяется конкуренцией. Результатом её, как правило, является полное или частичное вытеснение менее конкурентоспособных бобовых из фитоценоза. Другой вариант комменсализма: односторонняя помощь растения-«няни» другому растению. Так, береза или ольха могут быть няней для ели: они защищают молодые ели от прямых солнечных лучей, без чего на открытом месте ель вырасти не может, а также защищают всходы молодых ёлочек от выжимания их из почвы морозом. Такой тип взаимоотношений характерен лишь для молодых растений ели. Как правило, при достижении елью определённого возраста она начинает вести себя как очень сильный конкурент и подавляет своих нянь.

В таких же отношениях состоят кустарники из семейств губоцветных и сложноцветных и южно-американские кактусы. Обладая особым типом фотосинтеза (САМ-фотосинтез), который происходит днём при закрытых устьицах, молодые кактусы сильно перегреваются и страдают от прямого солнечного света. Поэтому они могут развиваться только в тени под защитой засухоустойчивых кустарников. Имеются также многочисленные примеры симбиоза, выгодного для одного вида и не приносящего другому виду ни пользы,

ни вреда. Например, кишечник человека населяет множество видов бактерий, присутствие которых безвредно для человека. Аналогично, растения, называемые бромелиадами (к которым относится, например, ананас), обитают на ветвях деревьев, но получают питательные вещества из воздуха. Эти растения используют дерево для опоры, не лишая его питательных веществ. Растения питательные вещества делают сами, а не получают из воздуха. Комменсализм — способ совместного существования двух разных видов живых организмов, при которых одна популяция извлекает пользу от взаимоотношения, а другая не получает ни пользы, ни вреда (например, чешуйница обыкновенная и человек).

#### **Симбиоз и эволюция**

Помимо ядра в эукариотических клетках имеется множество изолированных внутренних структур, называемых органеллами. Митохондрии, органеллы одного типа, генерируют энергию и поэтому считаются силовыми станциями клетки. Митохондрии, как и ядро, окружены двухслойной мембраной и содержат ДНК. На этом основании предложена теория возникновения эукариотических клеток в результате симбиоза. Одна из клеток поглотила другую, а после оказалось, что вместе они справляются лучше, чем по отдельности. Такова эндосимбиотическая теория эволюции.

Эта теория легко объясняет существование двухслойной мембранны. Внутренний слой ведёт происхождение от мембраны поглощённой клетки, а наружный является частью мембраны поглотившей клетки, обернувшейся вокруг клетки-пришельца. Также хорошо понятно наличие митохондриальной ДНК — это не что иное, как остатки ДНК клетки-пришельца. Итак, многие органеллы эукариотической клетки в начале своего существования были отдельными организмами, и около миллиарда лет тому назад объединили свои усилия для создания клеток нового типа. Следовательно, наши собственные тела — иллюстрация одного из древнейших партнёрских отношений в природе.

Следует также помнить, что симбиоз — это не только сосуществование разных видов живых организмов. На заре эволюции симбиоз был тем двигателем, который свёл одноклеточные организмы одного вида в один многоклеточный организм (колонию) и стал основой разнообразия современной флоры и фауны.

#### **Примеры симбиозов**

- Эндофиты живут внутри растения, питаются его веществами, выделяя при этом соединения, способствующие росту организма-хозяина.
- Транспортировка семян растений животными, которые поедают плоды и выделяют непереваренные семена вместе с помётом в другом месте.

#### **Насекомые/растения**

- Опыление цветущих растений насекомыми, в ходе которого насекомые питаются нектаром.
- Некоторые растения, например табак, приманивают к себе насекомых, которые способны защитить их от других насекомых<sup>[2]</sup>.
- Так называемые «сады дьявола»: деревья *Duroia hirsuta* служат жилищами для муравьёв вида *Myrmelachista schumannii*, которые убивают появляющиеся в окрестностях зелёные ростки иных видов деревьев, давая тем самым возможность разрастаться *Duroia hirsuta* без конкуренции.

#### **Грибы/водоросли**

- Лишайник состоит из гриба и водоросли. Водоросль в результате фотосинтеза производит органические вещества (углеводы), использующиеся грибом, а тот поставляет воду и минеральные вещества.

Взаимоотношения водоросли и лишайникового (лихенизированного) гриба в большинстве случаев представляют собой пример эндопаразитосапрофитизма. Гриб паразитирует на водоросли, обитающей в слоевище лишайника и разлагает отмершие клетки водорослей.

#### **Животные/водоросли**

- Жёлтопятнистая амбистома уже с момента существования в икринке может содержать в себе одноклеточные водоросли. При этом водоросли, используя метаболиты

животного, вырабатывают кислород, используемый для получения химической энергии в митохондриях<sup>[3]</sup>.

- Поселение зелёных водорослей в желобках волос ленивца, который таким образом маскируется под зелёный фон.

### **Грибы/растения**

- Многие грибы получают от дерева питательные вещества и снабжают его минеральными веществами (микориза).

### **Насекомые/насекомые**

- Некоторые муравьи защищают («пасут») тлю и получают от неё взамен выделения, содержащие сахар.

## **2. Антибиотические взаимоотношения**

**Хищничество** - способ добывания пищи и питания животных (редко растений), при котором они ловят, умерщвляют и поедают пищу. В ходе эволюции животного мира хищничество способствовало, как правило, морфофизиологическому прогрессу. У хищников обычно хорошо развиты нервная система и органы чувств, позволяющие обнаружить и распознать свою добычу, а также средства овладения, умерщвления, поедания и переваривания добычи (острые втягивающиеся когти кошачьих, ядовитые железы паукообразных, стрекательные клетки актиний, ферменты, расщепляющие белки, у многих животных

и др.).

По способу охоты хищников делят на зasadчиков (подстерегающих жертву) и на преследователей. Иногда, например у волков, встречаются коллективные формы охоты. В некоторых группах животных (пиявки) можно найти разные степени перехода между хищничеством и паразитизмом. Встречаются также переходы между хищничеством и питанием

трупами (некрофагия).

Хищники используются в биологической борьбе с видами, нежелательными для человека. Например, повреждающий цитрусовые австралийский желобчатый червец, проникший в конце XIXв. из Австралии в Северную Америку, а затем и в другие части света, практически везде был успешно ликвидирован с помощью его естественного врага хищного жука, специально завезенного из Австралии.

Снижая интенсивность конкуренции среди разных видов жертв, хищник способствует тем самым сохранению их высокого видового разнообразия. Взаимодействия между хищниками и их жертвами (т. е. отношения хищник - жертва) приводят к тому, что эволюция хищников и жертв происходит сопряженно, т. е. как коэволюция; в процессе ее хищники совершенствуют способы нападения, а жертвы - способы защиты. Следствием этих отношений являются сопряженные изменения численности популяций хищников и жертв.

В 20-е гг. А. Лотка и В. Вольтерра независимо друг от друга предложили систему дифференциальных уравнений для описания отношений между хищником и жертвой. Математические модели, предсказывающие обычно колебания обоих компонентов системы (устойчивые, затухающие или с возрастающей амплитудой), широко используются для описания функционирования сообществ.

Хищничество в самом широком смысле, т. е. поглощение пищи, представляет собой главную силу, обеспечивающую передвижение энергии и материалов в экосистеме. Поскольку причиной гибели является хищничество, эффективность, с которой хищники находят и схватывают свою добычу, определяет скорость потока энергии из одного трофического уровня к другому. В качестве одного из строительных блоков, образующих структуру сообщества и обеспечивающих его стабильность, хищничество отличается от конкуренции в одном важном аспекте: конкуренты оказывают друг на друга взаимное влияние, тогда как хищничество процесс односторонний. Правда, хищник и жертва воздействуют друг на друга, но изменения во взаимоотношениях, благоприятные для одного из них, наносят вред другому.

Конкурентное исключение и эволюция экологической дивергенции стабилизируют структуру трофических связей, сводя к минимуму взаимодействие между видами. И напротив, благоприятные либо для хищника, либо для жертвы условия не обязательно повышают присущую сообществу стабильность. Понимание явления хищничества, включая

взаимоотношения между хищником и жертвой, паразитом и хозяином, растительноядными животными и растением представляет собой ключ к пониманию внутренних механизмов, лежащих в основе функционирования сообщества.

В этом аспекте необходимо затронуть такие вопросы, как, например, ограничивают ли хищники популяцию жертвы, удерживая ее на более низком уровне, чем это допускает емкость среды? Если хищники столь эффективны, что они могут существенно сокращать популяцию жертвы, то как они удерживаются от чрезмерного выедания? Какое влияние оказывают хищники на конкуренцию между видами жертвы? Направлена ли деятельность хищников на получение максимальных прибылей?

Следует различать два вида хищников. Хищники одного типа питаются главным образом «бесполезными» для популяции особями, вылавливая больных и старых, более уязвимых молодых, а также не нашедших себе территории особей низшего ранга, но не трогают особей, способных к размножению, которые составляют источник пополнения популяции. Хищники другого типа так эффективно питаются особями всех групп, что могут серьезно нарушить потенциал популяции. Сами жертвы и их места обитания определяют тип хищничества, которому они подвергаются. Популяции организмов с небольшой продолжительностью жизни и высокой скоростью размножения часто регулируются хищниками.

Стратегия таких видов жертвы состоит в том, чтобы до максимума увеличить свое потомство, с риском для жизни повысить свою уязвимость для хищников. Так, например, у тли нет иного выхода. Для того чтобы питаться соком из жилок листьев платана, она должна сидеть на плоской поверхности на виду у всех. Мельчайшим водорослям, образующим фитопланктон, вовсе негде укрыться. Их выживание полностью и целиком зависит от случая. У животных, у которых ограничен запас их собственной пищи, скорость размножения низкая и следовательно они должны приложить больше усилий на то, чтобы спастись от хищников. Только при таком распределении сил эти животные могут сдвинуть равновесие между хищником и жертвой в свою пользу. В достижении этой цели жертвам помогает наличие в их местах обитания подходящих укрытий.

Обоюдную адаптацию хищника и жертвы можно рассмотреть на примере скворца и сокола сапсана. Сапсан - замечательная и красавая птица. Чтобы оценить охотничье поведение сапсана, необходимо все это увидеть собственными глазами. Этот сокол нападает и на других птиц одинакового с ним размера; почти вся добыча ловится в воздухе. Сапсаны обладают чрезвычайно острым зрением. Охотящиеся особи поднимаются высоко в небо и парят над землей. Когда в поле зрения сапсана оказывается летящая ниже жертва, сапсан складывает крылья и камнем падает вниз.

Чтобы сделать свою «засаду» невидимой, сокол нередко подлетает к добыче так, чтобы оказаться против солнца. Измерения показали, что падающий сокол развивает скорость свыше 300 км/ч (около 100 м/с). Большинство жертв погибают мгновенно от внезапного удара когтей сокола. Крупным жертвам он дает упасть на землю и съедает их там, а мелких может унести (не удивительно, что охотникам-соколятникам и их собакам крайне трудно поднять мелких птиц на крыло, когда в воздухе их «поджидает» сапсан! Иногда птицы предпочитают стать добычей собак на земле, нежели подняться в небо и оказаться на пути смертельного броска сокола).

Обычно скворцы летают неплотными стаями, но если они иногда со значительного расстояния замечают сапсана, то стая быстро сбивается в кучу. Уплотнение стаи - это специфическая реакция на появление сапсана, которая не возникает в присутствии других хищных птиц. Маловероятно, чтобы сокол атаковал плотную стаю, скорее он нападает на отдельную птицу. И действительно, немного отбившиеся от стаи скворцы-«бродяги» часто становятся жертвами сапсана.

Вероятно, сокол, падающий на плотную стаю, сам может получитьувечья. Таким образом успех охоты даже такого незаурядного хищника, как сокол-сапсан, оказывается ослаблен надлежащими поведенческими реакциями жертвы.

Примеры того, как хищники подавляют популяцию жертвы, снижая их численность до уровня, не достигающего емкости среды, очень многочисленны. Приведем некоторые из

них.

Эксперименты, проведенные с целью выяснить влияние морских ежей на популяции водорослей, выявили регулирующую роль хищников в некоторых естественных морских экосистемах. Был проведен простейший эксперимент, который состоял в том, чтобы удалить морских ежей, которые питаются прикрепленными водорослями, и проследить за последующим ростом этих водорослей. После того как морским ежам закрыли доступ в литоральную лужи и на поверхности скал, биомасса водорослей быстро увеличилась; следовательно, хищники удерживают популяцию на более низком уровне по сравнению с тем, который могла бы обеспечить среда.

Кроме того, после удаления хищников в этих местах появились другие виды водорослей. Крупные бурые водоросли, разрастаясь, начали замещать красные водоросли. На делянках, расположенных ниже приливной зоны и очищенных от хищников, крупные бурые водоросли образовали под поверхностью океана густой лес и вытеснили большинство мелких видов. Изменения, произошедшие в зарослях водорослей у берегов Южной Калифорнии, служат яркой демонстрацией влияния хищников морских ежей на популяцию водорослей. Большой интерес среди животных вызывают киты и дельфины. Хотя они живут в воде, они млекопитающие, а не рыбы. Толстый слой жира помогает им сохранять тепло, поэтому они могут жить в холодной воде. Кроме того, китообразные дышат легкими, а не жабрами. На темени у них есть два отверстия-дыхала, через которые животные дышат. И еще: китообразные не откладывают яиц, а рожают детенышей и вскармливают молоком. В наши дни существует около 76 видов китов, дельфинов и морских свиней. Все они принадлежат к отряду китообразных. У большинства китообразных есть зубы, но они ими не жуют, так как заглатывают добычу целиком. На самом деле зубатым китам зубы нужны лишь для того, чтобы хватать и держать добычу. Дельфины-белобоки очень резвые пловцы. Благодаря этому они ежедневно добывают от 4,5 до 9 кг съестного. Белуха например добывает пропитание на глубине больше 300 м. Здесь она кормится рыбой, кальмарами, крабами, креветками, двустворчатыми моллюсками и червями. Косатки свою жертву разрывают пятидесятью конусообразными зубами. Этих китов-хищников также называют орками по имени древнеримского бога подземного царства Орка. Косатки могут пополам перекусить тюленя. Мигрируя стадами, они охотятся не только на рыб, но и на крупных гладких китов, дельфинов, морских свиней, ламантинов, черепах и пингвинов. У кашалотов, например, можно наблюдать необычный способ добывания себе пищи. В голове у них образуются звуковые волны, способные парализовать живущих на глубине гигантских кальмаров. Это любимое лакомство кашалоты заглатывают целиком. У некоторых китов, представителей 10 родов, вообще нет зубов. С верхней челюсти у них свешивается китовый ус в виде рядов костяных пластин. Им киты как ситом отцеживают пищу из воды. Китовый ус и ногти человека состоят из похожего вещества. Любимая еда большинства усатых китов криль похожие на креветок оранжевые морские организмы размером до 5 см. Ученые подсчитали, что лишь субантарктические морские воды содержат около 6,5 млрд т криля, а синий кит ежедневно поглощает более 9 т. Горбатые киты предпочитают рыбу, а не криль, и ловят они ее особым способом расставляя «сети» из пузырьков воздуха. Выдувая воздух из дыхала, горбачи плавают кругами ниже косяка рыб. Пузырьки воздуха поднимаются вверх, окружая косяк напуганных рыб. Тогда кит заплывает внутрь своей сети и вылавливает попавшую в нее добычу. Рассмотрим еще в качестве примеров основные черты поведения таких животных, как семейство кошачьих и семейство настоящих сов. Данные семейства не случайно выбраны для сопоставления. Они состоят исключительно из видов-охотников, вооруженных хватающими конечностями, острыми когтями и ножеобразными зубами (клювами, челюстями), в общем, полным набором устрашающих признаков. Отметим, в частности, что совы со своим мягким оперением, бесшумным полетом, скрывающей манерой охоты и территориальным поведением напоминают как бы летающих кошек. Кстати, рыси и совы похожи даже внешне, включая и кисточки на ушах у рысей и своеобразные перьевые «ушки», придающие рысий вид филинам, сплюшкам и ушастым совам. К тому же, американские филины и рыси имеют одну и ту же базовую жертву зайцев, так что и те и

другие в течение более чем полувека являются классическим объектом для моделей сопряженной динамики численности хищника и жертвы. Семейство кошачьих включает в себя 26 видов и сравнительно мало изменилось за 30 млн лет своего существования. С самого начала это были одиночные хищники, нападающие главным образом из засады. Многие виды охотятся в сумерках или в темноте и обладают прекрасным зрением и слухом. Расчлененная, пятнистая или полосатая окраска делает большинство кошек незаметными для добычи. Самая маленькая кошечка в мире - это ржаво-пятнистый кот, обитающий в Индии и Шри-Ланке. По величине она вдвое меньше домашней кошки и весит от 1 до 3 кг. Самая большая кошка - это манчжурский тигр: самец весит около 300 кг и достигает в длину 4 м. Пропорции кошек различаются в зависимости от их мест обитания и характера добычи. Виды, лазающие по деревьям, такие как ягуар и леопард, более коренастые, у них более короткие конечности и короткое туловище. Обитатели саванн, такие как сервал и гепард, более напоминают борзых собак: они вытянуты в длину и ноги у них тоже длинные. Некоторые виды обладают специфическими адаптациями к жизни в экстремальных условиях. Например, песчаный, или барханный кот, один из самых мелких видов, различные подвиды которого обитают в пустынях Северной Африки, Центральной Азии, Пакистана, Прикаспия, имеет длинные конечности, покрытые длинной густой шерстью, вплоть до пяток, что помогает ему легко двигаться в сыпучих песках, а также рыть узкие норы, в которых он пережидает жаркое время суток. Огромные треугольные уши песчаного кота способны улавливать ультразвуковые сигналы, издаваемые потенциальными жертвами. Этот вид способен обходиться без воды, извлекая необходимую жидкость из поедаемой добычи (птиц, грызунов, ящериц, змей и насекомых), в противоположность другому своему родственнику, тигру, который всегда селится около воды и любит плавать. Способы охоты у кошек различны, при этом одни и те же виды могут варьировать приемы поимки добычи. На мелкую дичь кошки бросаются с вытянутыми вперед лапами и схватывают ее когтями прежде, чем нанесут ей знаменитый свой укус в шею. Крупную добычу требуется валить на землю. Кошки хватают ее за шею либо вцепляются челюстями в морду. Так, гепард, известный как самый быстрый в мире хищник, является и самым грозным. Он весьма узко специализирован к охоте, главным образом на антилоп мелких видов и на телят их более крупных представителей. Он живет в саваннах и пустынях, на участках с глинистыми и щебнистыми почвами и в предгорьях пустынных гор. Для охоты гепард выбирает участки со слабо пересеченным рельефом и такие, где есть небольшие выходы скал, терmitники, отдельно растущие деревья, а также густые небольшие кустарники. В этих условиях хищник может использовать укрытия для скрадывания добычи, убежища от врагов и наблюдательные пункты. Гепард способен на короткой дистанции развивать скорость до 115 км/ч, и редкому животному удается спастись от его стремительного броска, однако этот хищник может преследовать добычу только на твердом грунте и в течение короткого времени. Грозный для своих жертв, гепард уступает другим хищникам в конкурентных схватках, т. к. его узкое тело создано более для бега, а не для схватки. Убитую жертву гепард часто уступает львам или даже гиенам. Молодые гепарды часто становятся жертвами львов, и до взрослого возраста доживает лишь один из 20 котят. Что касается сов, то они являются главным образом подстерегающими хищниками. Однако эта стратегия опирается на разнообразные способы охоты: одни виды (неясыти, ушастая сова) способны подолгу терпеливо выжидать появления жертвы, другие (полярная и болотная совы, многие сычи) сочетают подкарауливание с поисковым полетом, а иглоногая сова добывает пищу преимущественно на лету. Совы схватывают и закалывают жертву когтями, а клюв служит для измельчения добычи. Они неоднократно возвращаются к недоеденной добыче и могут прятать ее, зарывая, например в листьях. Более того, мелкие совы, например, сычики, устраивают с осени целые склады, которые используют до конца зимы.

Очень опасным хищником для человека является медведь. До сих пор нередки случаи увечий у охотников, оплошивших при стрельбе по медведю. В 1972 г. в ВНИИОЗ от охотника кировчанина Н. Н. Кузнецова поступило сообщение, что в августе в лесу у деревни Сухие

Прудки и в 4 км от села Верхотулье в Арбажском районе Кировской области медведь убил в малиннике 55-летнюю женщину. Спустя несколько дней этот же медведь дважды пытался нападать на людей и некоторым нанес небольшие царапины. Зверя - убийцу отстрелил местный охотовед. Лица, осмотревшие тушу медведя, обнаружили следы ранения картечью. Зверя признали старым; на нижней челюсти все зубы у него были съедены до десен, на верхней - половина зубов была нормальной величины. С 1972 по 1982 гг. в газете «Кировская правда» 6 раз помещались сообщения о нападении медведей на людей, поэтому необходимость расширения медвежьей охоты необходима. Хочется немного сказать о таком грозном хищнике, как медведь-гризли. Его выделили в отдельный вид. Сейчас ученые пришли к выводу, что это обычный бурый медведь. Среди гризли встречаются довольно одаренные особи, отличающиеся умом, коварством и силой. И чем свирепее и непримиримее становится к человеку такой зверь, тем большим умом и сообразительностью он отличается. В длительном поединке с гризли человеку не всегда достается роль победителя.

В поведении даже разъяренного медведя существуют свои закономерности. Замечали, например, что медведь оставляет свою жертву, как только та прекращает сопротивление и лежит неподвижно. На человека гризли бросается очень стремительно, при этом голова у него всегда опущена. На задние лапы гризли встает только тогда, когда его обуревает любопытство или же он испытывает неуверенность, но не страх. Такой зверь не так уж и опасен. Но вот когда медведь несется как «свинья», то он представляет большую угрозу. В такой ситуации охотник едва ли успевает сделать даже единственный выстрел. Этот гигант, неповоротливый на вид увалень, очень стремителен. Американский охотник Ральф Янг своей книге «Моя жизнь охотника на медведей Аляски» (1981) пишет, что гризли способен преодолеть за 2 с расстояние, равное 31 м. Охотник говорит, что нападение на оленя было столь стремительным, что жертва не успела даже поднять от земли голову. Ученые утверждают, что самые огромные и мощные медведи живут недалеко от Аляски, на небольшом острове Кадьяк (США). Их так и называют медведи-кадьяк. Об этих исполинах ходят легенды. Уверяют, что медведь одним ударом лапы может сломать хребет крупному самцу лося. Между питанием животных и питанием растений существует одно важное различие. Большинство хищников, питающихся животными, действуют по принципу «все или ничего», поскольку хищник полностью убивает жертву и съедает ее целиком или большую ее часть. При питании же растениями обычно только часть растения потребляется «хищником». Поэтому «хищничество» на растениях (растительноядность) напоминает **паразитизм** на животных. Но даже неполное хищничество всегда должно уменьшать способность жертвы выжить и размножаться.

Колебания численности хищников и жертвы нередко производят впечатление тесно связанных между собой циклов. Классическим примером служат периодические колебания численности зайца-беляка, за которыми следуют очень сходные колебания численности рыси - одного из главных врагов зайца. Поскольку эти циклы наблюдаются на протяжении длительных периодов, они отражают некое стабильное взаимодействие между популяциями хищника и жертвы. Но экологи до конца еще не установили, действительно ли циклические колебания численности зайцев вызваны воздействием, оказываемым на популяцию хищником - рысью. Возможно, что численность зайцев колеблется в соответствии с изменением количества их собственной пищи, а колебания численности рыси просто пассивно следуют за циклическими изменениями популяций жертвы. Проведенные в лаборатории эксперименты, в которых жертва постоянно получала обильное количество пищи, показали, что хищники могут вызывать циклические колебания численности жертвы. В таких случаях циклические колебания усиливаются под влиянием медленной реакции популяции хищника на изменение плотности жертвы. В случае высокой эффективности хищников популяция жертвы нередко выедается до полного исчезновения; при этом вскоре после исчезновения жертвы вымирают и сами хищники. Взаимодействия хищник - жертва такого типа могут стабилизироваться лишь в том случае, если некоторому числу особей жертвы удается найти какое-то убежище и избежать

уничтожения хищником. Этот принцип продемонстрировал Г. Ф. Гаузе в своих первых работах на простейших. Ученый использовал в качестве жертвы инфузорию *Paramcium*, а в качестве хищника - другое ресничное простейшее, *Didinium*. В данном эксперименте хищника и жертву помещали в обыкновенную пробирку, содержащую питательную среду. В этой простой среде хищники быстро уничтожали всех парамеций, после чего сами погибали от голода. В другом эксперименте Гаузе несколько усложнял среду, помещая на дно пробирки немного стеклянной ваты, в которой парамеции могли укрыться от хищника. В этом случае популяция *Didinium* погибла, уничтожив всех доступных ей особей жертвы, однако популяция *Paramcium* восстановилась за счет нескольких особей, которым удалось спрятаться от хищников в стеклянной вате. Так как хищничество очень тесно связано с конкуренцией, то в следующей главе обязательно нужно дать основные понятия об этом явлении.

Энергия протекает через сообщество, переходя от одного звена пищевой цепи к другому, с одного трофического уровня на следующий. Не следует забывать, что каждый трофический уровень занимают не один, а много разных видов. Каждый из этих видов соперничает с другими, стараясь удовлетворить свои потребности в энергии и питательных веществах. Организмы, которые могут использовать одни и те же ресурсы, называются конкурентами. Конкуренцию можно определить как использование некого ресурса (пищи, воды, света, пространства) каким-либо организмом, который тем самым уменьшает доступность этого ресурса для других организмов. **Конкуренция** может возникать также в результате непосредственного воздействия конкурентов друг от друга, например, в результате продуцирования токсических веществ. Истощая или используя часть находящегося в недостатке ресурса, конкуренты прямым путем уменьшают его количество, доступное другим организменным единицам. Конкуренция посредством прямого влияния, например выделения токсинов или агрессивных столкновений, называется интерференционной конкуренцией. Косвенное подавляющее влияние, возникающее, например в результате уменьшения доступности общего ресурса, известно как эксплуатационная конкуренция. Если конкурирующие организмы принадлежат к одному и тому же виду, то взаимоотношения между ними называют внутривидовой конкуренцией; если же они относятся к разным видам, то их взаимоотношения называют межвидовой конкуренцией. В обоих случаях некий ресурс, потребляемый одной особью, уже не может быть использован другой. Пример, когда лисица поймает кролика, то для других лисиц в популяции жертвы становится одним кроликом меньше, причем не только для лисиц, но и для рысей, ястребов и других хищников, которые охотятся на кроликов. Замедление роста популяции, по мере того как ее численность приближается к численности, соответствующей емкости среды, обусловлено конкуренцией между входящими в ее состав особями. Когда популяция невелика, внутривидовая конкуренция выражена слабо и ресурсы имеются в изобилии. При высоких плотностях популяции интенсивная внутривидовая конкуренция снижает наличные ресурсы до уровня, сдерживающего дальнейший рост, и тем самым регулирует численность популяции. Полевые наблюдения и лабораторные эксперименты создают противоположные впечатления о природе. Мы нередко наблюдаем в природе сосуществование ряда экологически сходных видов, явно использующих во многом одни и те же ресурсы. Часто несколько близкородственных видов деревьев растут в одном и том же месте, причем всем им нужны солнечный свет, вода и содержащиеся в почве питательные вещества. В прибрежных зонах и на внутренних болотах обитают разнообразные птицы, питающиеся рыбой, в том числе белые и другие цапли, крачки, зимородки и поганки. В отличие от этого в лабораторных условиях близкородственные виды существуют редко. Если два вида вынуждены жить за счет одного и того же ресурса, один из них неизбежно гибнет. Результаты лабораторных исследований по конкуренции привели к формулировке закона конкурентного исключения, называемого также законом Гаузе. Данный закон гласит: два вида не могут сосуществовать, если они зависят от одного и того же лимитирующего их ресурса. Сосуществование видов возможно благодаря их различным потребностям в ресурсах.

Экологи долгое время изучали группы близких видов, живущих в одном и том же месте. В ходе исследований они обнаружили небольшие различия в размерах или способах добывания пищи, дающие возможность каждому виду использовать несколько иные ресурсы, чем остальным, и тем самым избегать интенсивной конкуренции. К примеру, при наблюдении за большим бакланом и хохлатым бакланом (это крупные, темноокрашенные ныряющие морские птицы), которые питаются в одном и том же месте и одним и тем же способом, - оба плавают на поверхности воды и ныряют за рыбой, - создается впечатление, что два этих вида конкурируют за пищу. Но при детальном рассмотрении способа питания этих птиц можно увидеть, что один из них кормится на дне, а другой на средней глубине. Состав пищи перекрывается лишь в малой степени и поэтому между ними нет большой конкуренции. Этот факт точно подтвердился после анализа содержимого желудков обоих видов. 80 % пищи большого баклана состоит из угрей и сельди, которые плавают на значительном расстоянии от дна. Хохлый баклан питается придонными формами, в частности камбалой и креветками.

Чрезвычайно интересен пример специализации у 8 близкородственных видов червей, паразитирующих в нижних участках пищеварительного тракта греческой черепахи. Все восемь видов червей питаются неассимилированными остатками пищи, но каждый из них предпочитает слегка отличающиеся от других по консистенции и составу, характерные для определенного участка толстой кишки.

Межвидовая конкуренция имеет место между особями экологически близких видов. Она может быть пассивной, это когда происходит потребление ресурсов внешней среды, необходимых обоим видам. Она может быть и активной (подавление одного вида другим). Приведем пример. Так, в литературе тигра называют главным конкурентом леопарда, и бытует мнение, что где много тигров, нет леопардов. Известны случаи, когда тигр убивал леопарда, например в Индии. В Непале зафиксированы факты поедания тигром убитых им леопардов. Известен случай, когда тигрица убила и почти полностью съела самку леопарда, а затем убила и перетащила тигрятам двух котят этой семьи. Подробные исследования экологического разобщения тигра и леопарда, проведенные в Национальном парке Читаван в Непале, показали, что оно достигается благодаря различию в использовании определенных типов растительных формаций, в суточной активности, а также в использовании добычи разных весовых категорий. В заповеднике Кедровая падь, по данным учета 1983-1984 гг., показано, что рост численности леопарда произошел в тех местах, где увеличилась численность тигра. Наблюдается явное тяготение обоих хищников к одним и тем же уроцищам. Не установлена также биотопическая разобщенность. В долине р. Ананьевка замечено незначительное предпочтение леопардом скалистых участков, где тигр бывает реже, что, впрочем характерно и для тех мест, где эти хищники не контактируют. Здесь и леопардом и тигром используются одни и те же места переходов, охот, отдыха. Одной из главных причин, привлекающих тигра и леопарда в одни и те же биотопы, является обилие пятнистого оленя, предпочитаемого здесь ими вида добычи, а также сходство в манере использования территории. Часто межвидовая конкуренция возникает между близкородственными видами при установлении вторичного перекрывания ареалов, когда географическая изоляция нарушается уже после завершения процессов видеообразования. Зачастую имеют место антагонистические отношения между родственными видами, когда один вид вытесняет другой (это и есть принцип конкурентного исключения Гаузе). Естественный отбор при межвидовой конкуренции направлен на увеличение экологических различий между конкурирующими видами и образование ими разных экологических ниш.

**Паразитизм** - это форма взаимоотношений двух различных организмов, принадлежащих к разным видам и носящих антагонистический характер, когда один из них (паразит) использует другого (хозяина) в качестве среды обитания (среда 1 порядка) или источника пищи, возлагая на него регуляцию своих отношений с внешней средой (среда 2 порядка). Паразитизм известен на всех уровнях организации живого, начиная с вирусов и бактерий и заканчивая высшими растениями и многоклеточными животными. Внешние проявления отношений в системе паразит - хозяин, степень их специализации (различные

приспособления к паразитированию и приуроченность паразитов к различным органам и тканям) и специфичности (приуроченность определенного вида паразита к определенному виду хозяина) могут быть различными. Узкая специфичность говорит о древнем происхождении системы.

Антагонистичность отношений паразит - хозяин определяется тесным взаимодействием партнеров, при котором организм хозяина часто воспринимает паразита как антиген, вызывающий образование антител и др. иммуннобиологических реакций. В процессе эволюции этой системы проявляется тенденция к сглаживанию антагонистических отношений между партнерами (например, низкая патогенность многих паразитов в филогенетических древних системах). Однако даже в самых стабильных системах паразит-хозяин отношения между партнерами построены по принципу неустойчивого равновесия, нарушение которого может привести к распаду системы и гибели одного из обоих партнеров.

Паразиты принимают участие в регуляции численности популяций хозяев (на этом основаны многие биологические методы борьбы), а иногда и определяют направленность микроэволюции процессов. Например, у некоторых групп населения Африки как реакция на действие возбудителя малярии может сохраняться ген серповидноклеточной анемии. Паразитов подразделяют на облигатных (обязательных) и факультативных (необязательных). Различают временный паразитизм - это когда паразиты нападают на хозяев только для питания, и стационарный когда паразиты проводят на хозяине всю жизнь. Паразитов также делят на эктопаразитов, обитающих на поверхности тела хозяина, и эндопаразитов, живущих во внутренних полостях, тканях и клетках хозяина. Стационарные паразиты могут быть периодическими (у них в цикле развития сохраняются свободноживущие стадии) и постоянными (проходят полное развитие в организме хозяина). Характерная особенность паразитов - редукция у них органов (например, пищеварительного тракта, органов чувств, конечностей) и усложнение других (половой системы, органов прикрепления). С развитием паразитических свойств возрастает специализация паразита, сужается круг его хозяев. У животных встречаются паразиты многих типов. Имеются отряды и классы, целиком представленные паразитами. Из простейших это споровики, из плоских червей это trematodes, monogenei и цестоды, из насекомых блохи, вши. Как правило, хозяин бывает заражен несколькими видами паразитов, которые локализуются в различных органах и тканях и образуют своеобразное сообщество паразитоценоэз. Часто жизненный цикл паразита чрезвычайно сложен и связан не с одним, а с несколькими хозяевами, иногда далекими друг от друга в систематическом отношении. Пути проникновения паразитов в организм хозяина различны: они могут попадать в пищеварительный тракт с пищей, активно пробуравливать покровы и внедряться через них, передаваться при посредстве переносчиков и др. Известны такие формы паразитических взаимоотношений, когда сами паразиты служат хозяевами для других паразитов, например некоторые микроспоридии паразитируют в trematodes, цестодах и др. паразитах. Такое явление называется гипер или сверхпаразитизмом; у насекомых могут быть паразиты 2, 3 и 4-го порядков.

Географическое распространение паразитов связано с распространением их хозяев и с особенностями среды обитания.

Среди грибов и растений также известно много паразитических видов. Неизвестны лишь паразитические формы мхов, папоротникообразных и голосемянных растений. Одни растения - паразиты могут содержать хлорофилл и могут вырабатывать органические вещества в процессе фотосинтеза, другие питаются за счет хозяина. Большая часть грибов и растений эктопаразитов находится вне хозяина (мучнисторосые грибы, повилика), лишь органы питания - гаустории - контактируют с живыми клетками. Тело эндопаразитов погружено в живую ткань хозяина, снаружи остаются лишь органы размножения. Многие низшие грибы внутриклеточные паразиты. Облигатные и близкие к ним паразиты (ржавчинные, головневые и мучнисторосые грибы) поражают преимущественно хорошо развитые растения; факультативные обычно поражают их изолированные части (например, овощи и плоды при хранении)

Изучение паразитизма чрезвычайно важно для борьбы с паразитами возбудителями болезней человека, промысловых и домашних животных, а также диких и культурных растений. В заключение хочется отметить, что смысл данного реферата состоит в том, чтобы показать, как складываются отношения в мире животных, от чего зависит численность тех или иных популяций, как существуют различные виды и что является главным, ведущим фактором прогресса.

### 3. Конкуренция и сосуществование видов

В естественных сообществах даже при асимметричной конкуренции вытеснение конкурентослабых видов происходит достаточно редко. Устойчиво могут существовать виды как с равной, так и с разной конкурентной способностью. Важным механизмом сосуществования видов является их расхождение по разным экологическим нишам (см. 7.3). Однако при сходной конкурентной способности видов они могут устойчиво сосуществовать в одной экологической нише.

При флюктуирующих ресурсах, что обычно наблюдается в природе (увлажнение или элементы минерального питания для растений, первичная биологическая продукция для разных видов фитофагов, плотность популяций жертв для хищников), преимущества поочередно получают разные конкурирующие виды. Это также ведет не к конкурентному исключению более слабого, а к сосуществованию видов, которые поочередно попадают в более выгодную и менее выгодную ситуацию. При этом ухудшение условий среды виды могут переживать при снижении уровня метаболизма или даже переходе в состояние покоя.

Наконец, конкуренция между видами протекает на фоне отношений с организмами других трофических уровней (хищниками и паразитами). Это также влияет на исход конкуренции, поскольку более привлекательный как пищевой ресурс вид имеет меньше шансов победить в конкуренции. В итоге в естественных экосистемах виды сосуществуют даже при наличии асимметричной конкуренции, которая должна была бы привести к вытеснению одного из них. Конкурентное исключение чаще всего наблюдается только в искусственных условиях «микрокосма», когда два конкурирующих вида изолированы и помещены в условия стабильной среды (например, в смешанном посеве двух культурных растений с разными конкурентными возможностями).

## Лекция 8 (Л-8) Биоценоз и его структура

1. Пространственная структура
2. Экологическая структура
3. Состав биогеоценоза

### Основные вопросы:

1. Пространственная структура

Каждый организм живет в окружении множества других, вступает с ними в самые разнообразные отношения как с отрицательными, так и с положительными для себя последствиями и в конечном счете не может существовать без этого живого окружения. Связь с другими организмами – необходимое условие питания и размножения, возможность защиты, смягчения неблагоприятных условий среды, а с другой стороны – это опасность ущерба и часто даже непосредственная угроза существованию индивидуума. Всю сумму воздействий, которые оказывают друг на друга живые существа, объединяют названием **биотические факторы среды**.

Непосредственное живое окружение организма составляет его **биоценотическую среду**. Представители каждого вида способны существовать лишь в таком живом окружении, где связи с другими видами обеспечивают им нормальные условия жизни. Иными словами, многообразные живые организмы встречаются на Земле не в любом сочетании, а образуют определенные сожительства, или сообщества, в которые входят виды, приспособленные к совместному обитанию.

Группировки совместно обитающих и взаимно связанных видов называют **биоценозами** (от лат. «биос» – жизнь, «ценоз» – общий). Приспособленность

членов биоценоза к совместной жизни выражается в определенном сходстве требований к важнейшим абиотическим условиям среды и закономерных отношениях друг с другом.

Понятие «биоценоз» – одно из важнейших в экологии. Этот термин был предложен в 1877 г. немецким гидробиологом К. Мёбиусом, изучавшим места обитания устриц в Северном море. Он установил, что устрицы могут жить лишь в определенных условиях (глубина, течения, характер грунта, температура воды, соленость и т. п.) и что вместе с ними постоянно обитает определенный набор других видов – моллюсков, рыб, ракообразных, иглокожих, червей, кишечнополостных, губок и т. п. (рис. 75). Все они связаны между собой и подвержены влиянию окружающих условий. Мёбиус обратил внимание на закономерность такого сожительства. «Наука, однако, не имеет слова, которым такое сообщество живых существ могло бы быть обозначено, – писал он. – Нет слова для обозначения сообщества, в котором сумма видов и особей, постоянно ограничиваемая и подвергающаяся отбору под влиянием внешних условий жизни благодаря размножению непрерывно владеет некоторой определенной территорией. Я предлагаю термин «биоценоз» для такого сообщества. Всякое изменение в каком-либо из факторов биоценоза вызывает изменения в других факторах последнего».

По Мёбиусу, возможность видов длительно сосуществовать друг с другом в одном биоценозе представляет результат естественного отбора и сложилась в историческом развитии видов. Дальнейшее изучение закономерностей сложения и развития биоценозов привело к возникновению особого раздела общей экологии – **биоценологии**.

Масштабы биоценотических группировок организмов очень различны, от сообществ подушек лишайников на стволах деревьев или разлагающегося пня до населения целых ландшафтов: лесов, степей, пустынь и т. п.

Тот участок абиотической среды, которую занимает биоценоз, называют **биотопом**, т. е., иначе, битоп – место обитания биоценоза (от лат. биос – жизнь, топос – место).

Пространственная структура наземного биоценоза определяется прежде всего сложением его растительной части – фитоценоза, распределением наземной и подземной массы растений.

При совместном обитании растений, разных по высоте, фитоценоз часто приобретает четкое **ярусное сложение**: ассимилирующие надземные органы растений и подземные их части располагаются в несколько слоев, по-разному используя и изменяя среду. Ярусность особенно хорошо заметна в лесах умеренного пояса. Например, в еловых лесах четко выделяются древесный, травяно-кустарничковый и моховый ярусы. Пять или шесть ярусов можно выделить и в широколиственном лесу: первый, или верхний, ярус образован деревьями первой величины (дуб черешчатый, липа сердцевидная, клен платановидный, вяз гладкий и др.); второй – деревьями второй величины (рябина обыкновенная, дикие яблони и груша, черемуха, ива козья и др.); третий ярус составляет подлесок, образованный кустарниками (лещина обыкновенная, крушина ломкая, жимолость лесная, бересклет европейский и др.); четвертый состоит из высоких трав (борцы, бор развесистый, чистец лесной и др.); пятый ярус сложен из трав более низких (сныть обыкновенная, осока волосистая, пролесник многолетний и др.); в шестом ярусе – наиболее низкие травы, такие, как копытень европейский. Подрост деревьев и кустарников может быть разного возраста и разной величины и не образует особых ярусов. Наиболее многоярусны дождевые тропические леса, наименее – искусственные лесные насаждения (рис. 81, 82).

В лесах всегда есть и **межъярусные (внеярусные) растения** – это водоросли и лишайники на стволах и ветвях деревьев, высшие споровые и цветковые эпифиты, лианы и др.

Ярусность позволяет растениям более полно использовать световой поток: под пологом высоких растений могут существовать теневыносливые, вплоть до тенелюбивых, перехватывающие даже слабый солнечный свет.

Ярусность выражена и в травянистых сообществах (лугах, степях, саваннах), но не всегда достаточно отчетливо (рис. 83). Кроме того, в них обычно выделяют меньше ярусов, чем в лесах. Впрочем, и в лесах иногда насчитываются всего два четко выраженных яруса,

например в бору-беломошнике (древесный, образованный сосной, и напочвенный – из лишайников).

Ярусы выделяют по основной массе ассимилирующих органов растений, оказывающих большое влияние на среду. Ярусы растительности могут быть разной протяженности: древесный ярус, например, толщиной в несколько метров, а моховой покров – всего несколько сантиметров. Каждый ярус по-своему участвует в создании фитоклимата и приспособлен к определенному комплексу условий. Например, в еловом лесу растения травяно-кустарничкового яруса (кислица обыкновенная, майник двулистный, черника и др.) находятся в условиях ослабленного освещения, выровненных температур (более низких днем и более высоких ночью), слабого ветра, повышенных влажности и содержания CO<sub>2</sub>. Таким образом, древесный и травяно-кустарничковый ярусы находятся в разной экологической обстановке, что сказывается на функционировании растений и на жизни животных, обитающих в пределах этих ярусов.

Подземная ярусность фитоценозов связана с разной глубиной укоренения растений, входящих в их состав, с размещением активной части корневых систем. В лесах нередко можно наблюдать несколько (до шести) подземных ярусов.

Животные также преимущественно приурочены к тому или иному ярусу растительности. Некоторые из них вообще не покидают соответствующего яруса. Например, среди насекомых выделяют следующие группы: обитатели почвы – геобий, наземного, поверхностного слоя – герпетобий, мохового яруса – бриобий, травостоя – филлобий, более высоких ярусов – аэробий. Среди птиц есть виды, гнездящиеся только на земле (куриные, тетеревиные, коньки, овсянки и др.), другие – в кустарниковом ярусе (певчие дрозды, снегири, славки) или в кронах деревьев (зяблики, корольки, щеглы, крупные хищники и др.).

Расчлененность в горизонтальном направлении – **мозаичность** – свойственна практически всем фитоценозам, поэтому в их пределах выделяют структурные единицы, которые получили разные названия: микрогруппировки, микроценозы, микрофитоценозы, парцеллы и т. п. Эти микрогруппировки различаются видовым составом, количественным соотношением разных видов, сомкнутостью, продуктивностью и другими свойствами.

Мозаичность обусловлена рядом причин: неоднородностью микрорельефа, почв, средообразующим влиянием растений и их биологическими особенностями. Она может возникнуть в результате деятельности животных (образование выбросов почвы и их последующее застанинение, образование муравейников, вытаптывание и стравливание травостоя копытными и др.) или человека (выборочная рубка, кострища и др.), вследствие вывалов древостоя во время ураганов и т. д.

А. А. Уранов обосновал понятие «фитогенное поле». Этот термин обозначает тот участок пространства, на который оказывает воздействие отдельное растение, затеняя его, изымая минеральные соли, меняя температуру и распределение влаги, поставляя опад и продукты обмена и т. п. Особи разных видов растений обладают различным фитогенным полем, что проявляется в пространственной структуре фитоценозов.

Изменения среды под влиянием жизнедеятельности отдельных видов растений создают так называемую фитогенную мозаичность. Она хорошо выражена, например, в смешанных хвойно-широколиственных лесах (рис. 84). Ель сильнее, чем лиственные породы, притеняет поверхность почвы, задерживает кронами больше дождевой влаги и снега, опад ели разлагается медленнее, способствует оподзоливанию почвы. В результате этого в елово-широколиственных лесах под широколиственными породами и осиной хорошо растут неморальные травы, а под елью – типичные boreальные виды.

Вследствие различий средообразующей деятельности разных видов растений отдельные участки в елово-широколиственном лесу отличаются многими физическими условиями (освещенностью, мощностью снегового покрова, количеством опада и т. д.), поэтому жизнь в них идет по-разному: неодинаково развит травостой, подрост, корневые системы растений, мелких животных и т. д.

Мозаичность, как и ярусность, динамична: происходит смена одних микрогруппировок другими, разрастание или сокращение их в размерах.

## 2. Экологическая структура

Разные типы биоценозов характеризуются определенным соотношением экологических групп организмов, которое выражает **экологическую структуру** сообщества. Биоценозы со сходной экологической структурой могут иметь разный видовой состав.

Виды, выполняющие одни и те же функции в сходных биоценозах, называют **викариирующими** (т. е. замещающими). Явление экологического викариата широко распространено в природе. Например, сходную роль играют куница в европейской и соболь в азиатской тайге, бизоны в прериях Северной Америки, антилопы в саваннах Африки, дикие лошади и куланы в степях Азии. Конкретный вид для биоценоза в известной мере случайное явление, так как сообщества формируются из тех видов, которые есть в окружающей среде. Но экологическая структура биоценозов, складывающихся в определенных климатических и ландшафтных условиях, строго закономерна. Так, например, в биоценозах разных природных зон закономерно изменяется соотношение фитофагов и сапрофагов. В степных, полупустынных и пустынных районах животные-фитофаги преобладают над сапрофагами, в лесных сообществах умеренного пояса, наоборот, сильнее развита сапрофагия. Основной тип питания животных в глубинах океана – хищничество, тогда как в освещенной, поверхностной зоне пелагиали много фильтраторов, потребляющих фитопланктон, либо видов со смешанным характером питания. Трофическая структура таких сообществ различна.

Экологическую структуру сообществ отражает также соотношение таких групп организмов, как гигрофиты, мезофиты и ксерофиты среди растений или гигрофилы, мезофилы и ксерофилы среди животных, а также спектры жизненных форм. Вполне естественно, что в сухих аридных условиях растительность характеризуется преобладанием склерофитов и суккулентов, а в сильно увлажненных биотопах богаче представлены гигро- и даже гидрофиты. Разнообразие и обилие представителей той или иной экологической группы характеризуют биотоп в неменьшей степени, чем точные измерения физических и химических параметров среды.

Такой подход к оценке биоценозов, при котором используются общие характеристики его экологической, видовой и пространственной структуры, экологи называют **макроскопическим**. Это обобщенная крупноплановая характеристика сообществ, позволяющая ориентироваться в свойствах биоценоза при планировании хозяйственных мероприятий, прогнозировать последствия антропогенных воздействий, оценивать устойчивость системы.

Микроскопический подход – это расшифровка связей каждого отдельного вида в сообществе, подробное изучение самых тонких деталей его экологии. Эта задача до сих пор еще не выполнена в отношении подавляющего большинства видов из-за чрезвычайного многообразия живых форм в природе и трудоемкости изучения их экологических особенностей.

### 3. Состав биогеоценоза

**Состав биогеоценоза.** Во всяком биогеоценозе можно выделить абиотические и биотические компоненты.

К абиотическим компонентам биогеоценоза относят:

неорганические вещества (углекислый газ, вода, кислород; ионы кальция, магния, калия, натрия и др.);

органические соединения, связывающие абиотическую и биотическую части биогеоценоза (белки, углеводы, липиды, гуминовые кислоты и др.);

климатический режим (температура, влажность, соленость воды, радиация, давление и др.).

Биотические компоненты представляют собой три взаимосвязанные функциональные группы организмов: продуценты, консументы, редуценты.

Продуценты (от лат. *producens* – производящий) – автотрофные организмы, синтезирующие органические вещества из неорганических. Это главным образом зеленые растения и в меньшей степени – фотосинтезирующие и хемосинтезирующие бактерии.

Консументы (от лат. *consumo* – потреблять) – гетеротрофные организмы, потребляющие готовые органические вещества как источник пищи и энергии. Это – все животные, грибы и многие бактерии (из последних в основном – паразиты).

Редуценты (от лат. *reducens* – возвращающий) – гетеротрофные организмы, преимущественно бактерии и грибы, они расщепляют сложные органические соединения до неорганических веществ (воды, углекислого газа, минеральных солей и др.), пригодных для использования продуцентами.

Продуценты улавливают энергию солнечных лучей (при фотосинтезе) или энергию химических связей неорганических веществ (при хемосинтезе) и переводят ее в энергию химических связей синтезированных ими органических веществ. Консументы, питаясь продуцентами, поглощают образованные ими органические вещества. Преобразованная в процессе питания энергия используется консументами для жизнедеятельности и построения тела. Наконец, редуценты, разлагающие органические вещества, высвобождают энергию, содержащуюся в их химических связях, и используют ее для осуществления процессов жизнедеятельности.

Таким образом, биотическую структуру биогеоценоза образуют три группы организмов: продуценты, консументы, редуценты. Они трансформируют энергию и обеспечивают биологический круговорот

### **Лекция 9 (Л-9) Организация (структура) экосистем**

- 1.Структура экосистемы
- 2.Принципы функционирования
- 3.Устойчивость экосистемы

#### **Основные вопросы:**

- 1.Структура экосистемы

Сообщества организмов связаны с неорганической средой теснейшими материально-энергетическим связями. Растения могут существовать только за счёт постоянного поступления в них углекислого газа, воды, кислорода, минеральных солей, Гетеротрофы живут за счёт автотрофов, но нуждаются в поступлении таких неорганических соединений, как кислород и вода. В любом конкретном местообитании запасов неорганических соединений, необходимых для поддержания жизнедеятельности населяющих его организмов, хватило бы ненадолго, если бы эти запасы не возобновлялись. Возврат биогенных элементов в среду происходит как в течение жизни организмов, так и после их смерти, в результате разложения трупов и растительных остатков. Для поддержания круговорота веществ в системе необходимо наличие запаса неорганических молекул в усвояемой форме и трех функционально различных экологических групп организмов: продуцентов, консументов и редуцентов. Продуцентами выступают автотрофные организмы, способные строить свои тела за счёт неорганических соединений.

Консументы - это гетеротрофные организмы, потребляющие органическое вещество продуцентов или других консументов и, трансформирующие его в новые формы. Редуценты живут за счет мертвого органического вещества, переводя его вновь в неорганические соединения. Классификация эта относительна, так как и консументы, и сами продуценты выступают частично в роли редуцентов, в течение жизни выделяя в окружающую среду минеральные продукты обмена веществ. В принципе круговорот атомов может поддерживаться в системе и без промежуточного звена - консументов, за счет деятельности двух других групп. Однако такие экосистемы встречаются скорее как исключения, например в тех участках, где функционируют сообщества, сформированные только из микроорганизмов. Роль консументов выполняют в природе в основном животные, и их деятельность по поддержанию и ускорению циклической миграции атомов в экосистемах сложна и многообразна. Масштабы экосистем в природе чрезвычайно различны. Неодинакова также степень замкнутости поддерживаемых в них круговоротов вещества, т. е. многократность вовлечения одних и тех же атомов в циклы. В качестве отдельных экосистем можно рассматривать, например, и подушку лишайников на стволе дерева, и разрушающийся пень с его

населением, и небольшой временный водоем, луг, лес, степь, пустыню, весь океан и, наконец, всю поверхность Земли, занятую жизнью. В подушке лишайников мы найдем все необходимые компоненты экосистемы. Продуценты - симбиотические водоросли, осуществляющие фотосинтез. В качестве консументов выступают некоторые мелкие членистоногие, питающиеся живыми тканями лишайника, а также грибные гифы, по существу паразитирующие на клетках водорослей. И гифы грибов, и большинство микроскопических животных, обитающих в лишайниковых подушках (клещи, коллемболы, нематоды, коловратки, простейшие), выступают и в роли продуцентов. Грибные гифы живут не только за счет живых, но и за счет погибших клеток водорослей, а мелкие животные-сапрофаги перерабатывают отмершие слоевища, в разрушении которых им помогают многочисленные микроорганизмы. Степень замкнутости круговорота в такой системе очень невелика: значительная часть продуктов распада выносится за пределы лишайника: вымывается дождевыми водами, осипается вниз со ствола. Кроме того, часть животных мигрирует в другие местообитания. Тем не менее, часть атомов успевает пройти несколько циклов, включаясь в тела живых организмов и освобождаясь из них, прежде чем покинут

данную экосистему,

В некоторых типах экосистем вынос вещества за их пределы настолько велик, что их стабильность поддерживается в основном за счет притока такого же количества вещества извне, тогда как внутренний круговорот малоэффективен. Таковы проточные водоемы, реки, ручьи, участки на крутых склонах гор. Другие экосистемы имеют значительно более полный круговорот веществ и относительно автономны (леса, луга, озера и т. п.). Однако ни одна, даже самая крупная, экосистема Земли не имеет полностью замкнутого круговорота. Материки интенсивно обмениваются веществом с океанами, причем большую роль в этих процессах играет атмосфера, и вся наша планета часть материи получает из космического пространства,

а часть отдаст в космос.

В соответствии с иерархией сообществ жизнь на Земле проявляется и в иерархичности соответствующих экосистем. Экосистемная организация жизни является одним из необходимых условий ее существования. Запасы биогенных элементов, из которых строят тела живые организмы, на Земле в целом и в каждом конкретном участке на ее поверхности небезграничны, Лишь система круговоротов могла придать этим запасам свойство бесконечности, необходимого для продолжения жизни. Поддержать и осуществлять круговорот могут только функционально различные группы организмов. Таким образом, функционально-экологическое разнообразие живых существ и организация потока извлекаемых из окружающей среды веществ в циклы - древнейшее свойство жизни.

## 2.Принципы функционирования

Основные структурные черты экосистем определяют три основных условия или принципа функционирования экосистем:

- наличие потока солнечной энергии;
- существование круговорота биологического вещества;
- снижение биомассы при повышении трофического уровня.

Первый принцип -экосистемы существуют за счет незагрязняющей среду и практически вечной солнечной энергии, количество которой относительно постоянно и избыточно. До промышленной революции люди обеспечивали свое существование, используя энергию домашних животных, дров, ветра и воды, т. е. все ту же солнечную энергию. Массовое использование ископаемых источников энергии, начавшееся примерно 250 лет назад, а также использование ядерной энергии, очевидно, нарушает первый принцип и ведет к неустойчивому развитию экосистем.

Второй принцип - в естественных экосистемах использование ресурсов и избавление от отходов осуществляются в рамках круговорота всех химических компонентов. Однако, их соотношение устоялось в течение огромного промежутка времени, в течение которого развивалась жизнь на Земле. Человеческая же деятельность вносит в экосистемы огромное количество химических соединений, переработать которые устоявшиеся экосистемы не в состоянии.

Третий принцип - чем больше биомасса популяции, тем ниже должен быть занимаемый ею трофический уровень. Однако численность людей увеличивается с огромной скоростью и превышает 90 млн человек в год. Поскольку огромная масса людей, особенно в развитых странах, относится к третьему трофическому уровню, т. е. ест мясо, то требуется огромная площадь сельскохозяйственных угодий, чтобы удовлетворить пищевые потребности. Более или менее естественно третий принцип реализуется немногими. Например, в Монголии, где население страны составляет 2,5 млн при численности скота 35 млн, последние вполне обеспечены пастбищными пространствами. В других же странах требуется непрерывное увеличение посевных площадей, что ведет к уничтожению лесов, разрушению почв и загрязнению среды несвойственными ей химическими элементами.

Поэтому при выработке экономических решений, особенно стратегических, следует в первую очередь обращать внимание на стимулирование безотходных технологий, развитие солнечной энергетики и поддержание плодородия почв.

### 3. Устойчивость экосистемы

**Толерантность вида.** Термин толерантность (от лат. tolerantia – терпение) означает выносливость вида по отношению к колебаниям какого-либо экологического фактора, или другими словами, способность организмов переносить отклонения экологических факторов среды от оптимальных для них величин. Изменения величин этих факторов для каждого организма допустимы только в определенных пределах, при которых сохраняется нормальное функционирование организма, т.е. его жизнеспособность. Допустимые пределы изменений экологических факторов среды называются **границами толерантности**. Разные виды организмов отличаются более широкими или более узкими границами толерантности. Чем большие пределы изменения параметров среды безболезненно выдерживает конкретный организм, тем выше толерантность, или устойчивость этого организма к изменению экологических факторов среды.

**Адаптация организмов к изменению экологических факторов.** Показатели устойчивости организмов в изменяющихся условиях среды обитания определяются возможностями организмов приспособливаться (адаптироваться) к изменениям биотических и абиотических факторов. Адаптациями называются эволюционно выработанные и наследственно (генетически) закрепленные свойства организмов, обеспечивающие их нормальную жизнедеятельность при изменениях экологических факторов. Адаптационные возможности у разных видов очень сильно различаются. Например, береза хорошо растет как на сухих, так и увлажненных почвах, а сосна – только на почвах с умеренным увлажнением.

Часто важны не только пределы изменения экологических факторов, но и скорость их изменения, т.е. динамика. Не все виды способны приспособиться к быстрым изменениям условий среды. Виды, которые не могут (или не успевают) приспособиться к изменившимся условиям, вымирают и их экологические ниши в экосистемах занимают другие, более пластичные виды.

Рассмотрим основные виды адаптаций организмов к изменениям экологических факторов. Наиболее важными из них являются:

- морфологические;
- физиологические;
- поведенческие.

К морфологическим адаптациям относятся видоизменения органов, например, развитие у баобаба колючек вместо листьев, а у китов и дельфинов – плавников вместо ног. Физиологические адаптации связаны с особенностями ферментативного набора в пищеварительном тракте. Так, потребность животных во влаге удовлетворяется в пустынях путем биохимического окисления жиров, а у растений биохимические процессы фотосинтеза позволяют создавать органическое вещество из неорганических соединений. Поведенческие адаптации проявляются, например, в способах обеспечения теплообмена у птиц путем сезонных перелетов, у животных – с помощью линьки; для обеспечения пищей хищники используют приемы затаивания (в засаде), а их жертвы – защитную окраску.

**Устойчивость экосистем** – это способность экосистем сохранять структуру и нормальное функционирование при изменениях экологических факторов. Рассмотренные выше адаптации организмов к изменениям факторов среды обитания в определенной степени обеспечивают устойчивость экосистем, в состав которых они входят, к изменению экологических факторов среды. Однако, как и всякая более сложная система, экосистема по сравнению с отдельными видами организмов имеет более высокую степень надежности функционирования в изменяющейся среде, так как на системном уровне формируются и развиваются новые, системные механизмы обеспечения устойчивости и живучести экосистем, которые отсутствовали у отдельных видов. Такие эволюционно выработанные механизмы приспособления экосистем к изменениям среды обитания называются **адаптациями экосистем**.

Рассмотрим адаптации экосистем, состоящие из адаптационных механизмов двух уровней: видовой уровень и интеграционный, или системный уровень. Видовой (низший) уровень соответствует ранее рассмотренным механизмам в подразделе «Адаптации организмов к изменению экологических факторов». Системный уровень образуют приспособительные механизмы, возникающие за счет видового взаимодействия по трофическим цепям и сетям. Природа этих интеграционных, системных механизмов обеспечения устойчивости экосистем основана на круговороте веществ, который осуществляется с помощью трофических цепей.

Существование биогеохимических круговоротов создает возможность для саморегуляции экосистем (или гомеостаза), что придает экосистеме устойчивость в течение длительных периодов. Например, показателем устойчивости глобальной экосистемы, связанной с круговоротом веществ, может служить следующий факт. Известно, что 93% массы тела человека составляют 4 химических элемента: кислород, углерод, водород и кальций, которые, во-первых, входят в перечень одиннадцати самых распространенных в геосферах Земли химических элементов, и, во-вторых, эти четыре элемента сами образуют более 56% массы геосферы.

Видовое разнообразие – также один из факторов устойчивости экосистем к неблагоприятным факторам среды. Разнообразие обеспечивает как бы подстраховку, дублирование устойчивости. Например, малочисленный вид при неблагоприятных условиях для другого широко представленного вида может резко увеличить свою численность и таким образом заполнить освободившееся пространство (экологическую нишу), сохранив экосистему как единое целое. Такая последовательная смена видов или замена одного биоценоза другим называется сукцессией (от лат. сукцедо – следую).

Чтобы лучше уяснить суть сукцессии в экосистеме, рассмотрим два примера:

1) известно, что после лесного пожара сначала появляются лиственные породы, а затем через 70–100 лет их сменяют хвойные;

2) в упавшем дереве сначала поселяются короеды, затем появляются пожиратели древесины, а бактерии и грибы завершают процедуру превращения упавшего дерева в гумус почвы.

Таким образом, увеличение степени разнообразия является основой того, что экосистемы с более длинными цепями питания формируют более интенсивный круговорот веществ и, следовательно, обладают повышенной устойчивостью благодаря возможностям саморегуляции (гомеостаза).

**Гомеостаз.** Природные экосистемы (например, лесные, степные) существуют в течение длительного времени и обладают определенной стабильностью, для поддержания которой необходима сбалансированность потоков вещества и энергии в процессах обмена между организмами и окружающей средой. Однако абсолютной стабильности в природе не бывает. Поэтому стабильность состояния природных экосистем является относительной, показателем которой может служить, например, периодически изменяющаяся численность популяций разных видов в экосистеме: численность одних видов увеличивается, других – уменьшается. Такое динамически равновесное состояние, или состояние подвижно-стабильного равновесия экосистем, называют гомеостазом (от греч. гомео – тот же; стазис – состояние).

Ключевой для понимания гомеостаза экосистем термин «подвижно-стабильное равновесие» означает, что устойчивое функционирование экосистем в изменяющихся условиях среды возможно именно вследствие того, что экосистема находится в квазиравновесном состоянии, принципиально отличающимся от понимания состояния равновесия в физике. Чтобы понять это различие, кратко рассмотрим составные части этого термина.

а) Стабильность означает, что природные экосистемы существуют в течение длительного времени и обладают определенной относительной стабильностью во времени и пространстве. Заметим, что особенностью искусственных (техногенных, созданных человеком) экосистем является то, что человек сам должен поддерживать равновесие в этих экосистемах, т.е. управлять процессами их функционирования, например, замена ила в региональных, муниципальных или производственных водоочистных сооружениях, в которых культивируются колонии бактерий, пожирающих, сорбирующих, разлагающих загрязняющие вещества в сточных водах.

б) Подвижность означает изменчивость свойств (например, численности популяций) и структуры экосистемы, т.е. совокупности видов. Последовательные изменения в состоянии равновесия в природных экосистемах отражаются в смене видов (например, в процессе сукцессии), сопровождающейся и изменениями в структуре и свойствах трофических цепей (сетей). Разнообразие видов формирует сукцессию, обеспечивая заполненность пространства жизнью и увеличивая степень замкнутости биогеохимического круговорота в экосистеме.

Следовательно, гомеостатичность – общее свойство всех экосистем, зависящее от эффективности комплекса адаптационных механизмов, действующих как на уровне отдельных видов, так и на уровне экосистемы в целом. Гомеостатичность зависит от возраста и видового разнообразия экосистем и поэтому сильно отличается как у разных сообществ, так и в естественных и искусственных экосистемах.

### **Лекция 10 (Л-10) Вид и индивидуум в экосистеме**

1. Вид и его структура
2. Место вида в экосистеме (экологическая ниша)
3. Особь и окружающая среда

#### **Основные вопросы:**

1. Вид и его структура

Виды реально существуют, но развития нет (К. Линней, нач. XVIII в.).

Видов нет, они — плод воображения, но историческое развитие в природе есть (Ламарк, середина XVIII в.).

Виды реально существуют, относительно постоянны и являются результатом исторического развития (Дарвин, 1856г.)

**Вид** — это совокупность особей, обладающих наследственным сходством морфологических, физиологических и биологических особенностей, свободно скрещивающихся и дающих плодовитое потомство, приспособленных к определенным условиям жизни и занимающих в природе определенную область — ареал. (Современное определение вида)

Каждый вид занимает более или менее обширный ареал. Иногда он сравнительно невелик: для видов, обитающих в Байкале, он ограничивается озером. Черная и белая вороны занимают обширные территории.

Особи любого вида распределены внутри видового ареала неравномерно. Поэтому вид рассматривается, как совокупность отдельных групп организмов — популяций.

Реально вид существует в виде популяции.

## Критерии вида



## Структура вида

### Структура вида

#### Популяция —

естественная элементарная структура вида, представляющая совокупность свободно скрещивающихся особей одного вида, занимающих определенную обособленную часть ареала.

#### Подвид —

более крупная внутривидовая группировка, состоящая из популяций, близких по ареалу, или по своим экологическим особенностям. Подвид более крупная внутривидовая группировка, состоящая из популяций, близких по ареалу, или по своим экологическим особенностям.

**Популяция** — единица эволюции. В ней совершаются все первичные эволюционные процессы: дивергенция (расхождение признаков) и конвергенция (сходство признаков), что приводит к образованию новых группировок особей внутри вида, новых популяций, подвидов, видов.

#### 2. Место вида в экосистеме (экологическая ниша)

Одним из основных в современной экологии является понятие экологической ниши. Впервые об экологической нише заговорили зоологи. В 1914 г. американский зоолог-натуралист Дж. Гриннелл и в 1927 г. английский эколог Ч. Элтон термином «ниша» определили самую мелкую единицу распространения вида, а также место данного организма в биотической среде, его положение в цепях питания.

Обобщенным определением экологической ниши является следующее: это место вида в природе, обусловленное совокупным набором факторов внешней среды. Экологическая ниша включает не только положение вида в пространстве, но и его функциональную роль в сообществе.

**Экологическая ниша** — это совокупность факторов среды, в пределах которых обитает тот или иной вид организмов, его место в природе, в пределах которого данный вид может существовать неограниченно долго.

Так как при определении экологической ниши следует учитывать большое число факторов, то место вида в природе, описываемое этими факторами, представляет собой многомерное пространство. Такой подход позволил американскому экологу Г. Хатчинсону дать следующее определение экологической ниши: это часть воображаемого многомерного пространства, отдельные измерения которого (векторы) соответствуют факторам, необходимым для нормального существования вида. При этом Хатчинсон выделял нишу **фундаментальную**, которую может занять популяция при отсутствии конкуренции (она определяется физиологическими особенностями организма), и **нишуреализованную**, т.е. часть фундаментальной ниши, в пределах которой вид реально встречается в природе и которую он занимает при наличии конкуренции с прочими видами. Понятно, что реализованная ниша, как правило, всегда меньше фундаментальной.

Некоторые экологи подчеркивают, что в пределах своей экологической ниши организмы должны не только встречаться, но и быть способными к воспроизведению. Поскольку существует видовая специфичность к любому экологическому фактору, поскольку и экологические ниши видов специфичны. Каждый вид имеет свою, свойственную ему экологическую нишу.

Большинство видов растений и животных могут существовать только в специальных нишах, в которых поддерживаются определенные физико-химические факторы, температура и источники питания. После того как в Китае, например, началось уничтожение бамбука, панда, чей рацион на 99 % состоит из этого растения, оказалась на грани вымирания.

Виды с общими нишами могут легко приспосабливаться к изменяющимся условиям среды обитания, поэтому опасность их вымирания невысока. Типичные представители видов с общими нишами — мыши, тараканы, мухи, крысы и люди.

Закон конкурентного исключения Г. Гаузе для близких по экологии видов в свете учения об экологической нише может быть сформулирован таким образом: **два вида не могут занимать одну и ту же экологическую нишу**. Выход из конкуренции достигается расхождением требований к среде или, другими словами, разграничением экологических ниш видов.

Конкурирующие виды, обитающие совместно, для ослабления конкуренции часто «разделяют» имеющиеся ресурсы. Типичный пример — деление на животных, активных днем, и проявляющих свою активность ночью. Летучие мыши (каждое четвертое в мире млекопитающее принадлежит к этому подотряду рукокрылых) делят воздушное пространство с другими охотниками на насекомых — птицами, используя смену дня и ночи. Правда, у летучих мышей есть несколько относительно слабых конкурентов, таких как совы и козодои, которые также активны ночью.

Похожее разделение экологических ниш на дневную и ночную «смены» наблюдается у растений. Одни растения распускают цветки днем (большинство дикорастущих видов), другие — ночью (любка двулистная, душистый табак). При этом ночные виды испускают еще и привлекающий опылителей запах.

Экологические амплитуды некоторых видов бывают очень малы. Так, в тропической Африке один из видов червей живет под веками гиппопотама и питается исключительно слезами этого животного. Более узкую экологическую нишу трудно себе представить.

#### **Концепция экологической ниши вида**

Положение вида, которое он занимает в общей системе биоценоза, включая комплекс его биоценотических связей и требований к абиотическим факторам среды, называют **экологической нишей вида**.

Концепция экологической ниши оказалась очень плодотворной для понимания законов совместной жизни видов. 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.

Экологическая ниша вида зависит не только от абиотических условий среды, но и в не меньшей мере от его биоценотического окружения. Это характеристика того образа жизни, который вид может вести в данном сообществе. Сколько на Земле видов живых организмов — столько же и экологических ниш.

**Правило конкурентного исключения** может быть выражено таким образом, что два вида не уживаются в одной экологической нише. Выход из конкуренции достигается благодаря расхождению требований к среде, изменению образа жизни, что является разграничением экологических ниш видов. В этом случае они приобретают способность сосуществовать в одном биоценозе.

**Разделение совместно живущими видами экологических ниш** с частичным их перекрыванием — один из механизмов устойчивости природных биоценозов. Если какой-либо из видов резко снижает свою численность или выпадает из состава сообщества, его роль берут на себя другие.

Экологические ниши растений, на первый взгляд, менее разнообразны, чем животных. Они четко очерчены у видов, различающихся по питанию. В онтогенезе растения, как и многие животные, меняют экологическую нишу. С возрастом они более интенсивно используют и преобразуют среду.

У растений имеет место перекрывание экологических ниш. Оно усиливается в отдельные периоды при ограничении ресурсов среды, но поскольку виды используют

ресурсы индивидуально, избирательно и с разной интенсивностью, конкуренция в устойчивых фитоценозах ослабляется.

На богатство экологических ниш в биоценозе оказывают влияние две группы причин. Первая — условия среды, предоставляемые биотопом. Чем мозаичнее и разнообразнее биотоп, тем больше видов могут размежевать в нем свои экологические ниши.

Другой источник разнообразия ниш — сами виды, являющиеся ресурсом и создающие среду для других. Любой новый вид, внедряющийся в сообщество, увеличивает число имеющихся в нем экологических ниш не только за счет своего собственного положения среди других, но и предоставляя ресурсы для паразитов, хищников, норовых и гнездовых сожителей и т.п.

### 3. Особь и окружающая среда

Следуя экологическому подходу, можно мысленно вычленить из мира живой природы, всего многообразия живых организмов только одну **особь**. Эта условно изолированная особь (например, заяц) будет находиться под воздействием только **факторов** окружающей среды, среди которых основными окажутся климатические. Именно они, прежде всего температура, влажность, освещенность и др., имеют определяющее значение в распространении тех или иных видов на Земле. Кроме того, для водных организмов особое значение приобретает вода как единственная среда обитания, а для наземных растений огромную роль играют физические и химические свойства почвы. Изучение действия различных природных факторов на отдельный (искусственно изолированный организм) есть первое и наиболее простое подразделение экологии — **аутэкология** или **факториальная экология**.

**Среда с позиции экологии.** Организм является начальной, основной единицей обмена веществ. Именно с организма и начинается цепочка взаимоотношений живой материи, ее нельзя прервать ни на одном уровне. Очевидно, что существует глубокая связь между организмом и окружающей средой.

**Среда** — комплекс природных тел и явлений, с которыми организм находится в прямых или косвенных взаимоотношениях. В широком смысле это материальные тела, явления и энергия, действующие на организм.

Существует значительное разнообразие понятия «среда» в зависимости от степени конкретизации. Так, **внешняя среда** рассматривается как совокупность сил и явлений природы, ее вещество и пространство, любая деятельность человека (организма), находящаяся вне рассматриваемого объекта или субъекта и необязательно непосредственно контактирующая с ним. Понятие **окружающая среда** — то же, что и среда внешняя, но она находится в непосредственном контакте с объектом или субъектом. Термин, очевидно, требует определяющего дополнения: среда, окружающая кого? что? Поэтому более правильно говорить «окружающая человека среда» и т.д. Различают также **природную среду** (сочетание естественных и измененных деятельностью человека факторов живой и неживой природы, которые проявляют эффект воздействия на организм), **среду абиотическую** (все силы и явления природы, происхождение которых прямо не связано с жизнедеятельностью ныне живущих организмов) и **среду биотическую** (силы и явления природы, которые обязаны своим происхождением жизнедеятельности ныне живущих организмов).

Имеет место и конкретное пространственное понимание среды, как непосредственного окружения организма, — это его **среда обитания**. К ней относят только те элементы, с которыми данный организм вступает в прямые или непрямые отношения, т.е. это все то, среди чего он живет.

В условиях Земли живые организмы освоили четыре основные среды обитания. Первой была **водная среда**, в которой возникла и распространилась жизнь. В последующем живые организмы овладели **наземно-воздушной** средой, далее они создали и заселили **почву**. Четвертой специфической средой жизни стали **сами организмы**, тела которых использовались паразитами или симбионтами.

**Влияние среды на организм.** Организм, испытывая потребность в притоке вещества, энергии и информации, полностью зависит от среды. Уместно здесь привести закон,

открытый российским ученым К.Ф. Рулье: **результаты развития (изменений) любого объекта (организма) определяются соотношением его внутренних особенностей и особенностей той среды, в которой он находится.** Этот закон, иногда называемый первым экологическим законом жизни, имеет общее значение, так как в равной мере относится к живой и неживой материи, а также социальной сфере.

Эволюционно возникшее приспособление организмов к условиям среды, выражющееся в изменении их внешних и внутренних особенностей, носит название **адаптации**.

Способность к адаптациям – одно из основных свойств жизни вообще, поскольку обеспечивает саму возможность ее существования, возможность организмов выживать и размножаться. При этом адаптации способны проявляться на самых разных уровнях: от биохимии клеток и поведения отдельных организмов до строения и функционирования сообществ и экосистем.

Каждый организм реагирует на окружающую среду в соответствии со своей генетической конституцией. **Правило соответствия** условий среды генетической предопределенности организма гласит: до тех пор, пока среда, окружающая определенный вид организмов, соответствует генетическим возможностям приспособления этого вида к ее колебаниям и изменениям, этот вид может существовать. Резкое изменение условий среды обитания может привести к тому, что генетический аппарат вида не сможет приспособиться к новым условиям жизни. Сказанное в полной мере относится и к человеку.

**Влияние живых организмов на среду.** Организмы и сами способны существенно воздействовать на среду. Так, их жизнедеятельность значительно влияет на газовый состав атмосферы. Это связано, в частности, с тем, что в результате фотосинтеза зеленых растений в атмосферу поступает кислород. Диоксид углерода, напротив, извлекается из атмосферного воздуха растениями и вновь поступает туда в процессе разложения остатков погибших организмов.

На предел воздействия организмов на среду обитания указывает другой экологический закон жизни (Куражковский Ю.Н.): **каждый вид организмов, потребляя из окружающей среды необходимые ему вещества и выделяя в нее продукты своей жизнедеятельности, изменяет ее таким образом, что среда обитания становится непригодной для его существования.**

Таким образом, организмы испытывают воздействие постоянно меняющихся условий среды, но и сами способны изменять эти условия.

### **Лекция 11 (Л-11) Структура и развитие экосистем**

1. Взаимосвязи разных компонентов наземных экосистем.
2. Полнота биотического круговорота.
3. Особенности сукцессии наземных экосистем.

### **Основные вопросы:**

1. Взаимосвязи разных компонентов наземных экосистем.

Экосистема (экологическая система) - система совместно обитающих живых организмов и условий их существования, связанных потоком энергии и круговоротом вещества.

Экологические системы разных уровней представляют собой основные функциональные единицы биосфера. Эти надорганизменные объединения включают организмы и неживое (косное) окружение, находящиеся во взаимодействии, без которого невозможно поддержание жизни на нашей планете. Будучи энергетически и структурно открытыми системами, они находятся в статистическом, подвижном равновесии - гомеостаз(ис)е (от греч. homoios - подобный, statis - стояние) благодаря особой структурно-функциональной организации всех своих компонентов. При этом различают структурно-физическую организацию - пространственное размещение компонентов, и временную организацию - динамику деятельности отдельных частей. Очень важный функциональный аспект организации, или принципы взаимодействия компонентов. В целом организация проявляется в размещении, группировке и взаимосвязях масс и косных тел, что позволяет экосистеме оптимально осуществлять свою генеральную функцию - материально-

энергетический обмен между составными частями экосистемы, а также взаимодействие с другими экосистемами.

В зависимости от природных и климатических условий можно выделить три группы и ряд природных экосистем. В основе квалификации для наземных экосистем лежит тип естественной (исходной) и растительности, для водных экосистем - гидрологические и физические особенности.

Наземные экосистемы:

1. Тундра: арктическая и альпийская;
2. Бореальные хвойные леса;
3. Листопадный лес умеренной зоны;
4. Степь умеренной зоны;
5. Тропические злаковники и саванна;
6. Чапараль (районы с дождливой зимой и засушливым летом);
7. Пустыня: травянистая и кустарниковая;
8. Полувечнозеленый тропический лес (районы с выраженным влажным и сухим сезонами);
9. Вечнозеленый тропический дождевой лес.

Пресноводные экосистемы:

1. Лентические (стоячие воды): озера, пруды, водохранилища и др.;
2. Лотические (текущие воды): реки, ручьи, родники и др.;
3. Заболоченные угодья: болота, болотистые леса, марши (приморские луга).

Морские экосистемы:

1. Открытый океан (pelагическая экосистема);
2. Воды континентального шельфа (прибрежные воды);
3. Районы апвеллинга (плодородные районы с продуктивным рыболовством);
4. Эстуарии (прибрежные бухты, проливы, устья рек, лиманы, соленые марши и др.);
5. Глубоководные рифтовые зоны.

Помимо основных типов природных экосистем (биомов) различают переходные типы - экотоны. Например, лесотундра, смешанные леса умеренной зоны, лесостепь, полупустыни и др.

**БИОГЕОЦЕНОЗ** — включает биоценоз и биотоп (экотоп). Биоценоз предоставляет собой совокупность растений, животных, микроорганизмов, населяющих определенный биотоп. Близким к понятию стация является биотоп, под которым понимают пространство с более или менее однородными почвенными и климатическими условиями, заселенные более или менее определенным сообществом организмов. Местообитание — пространственно ограниченная часть суши или водоема (биотоп или его часть) и совокупность абиотических и биотических условий среды, обеспечивающие весь цикл развития особи или популяции в целом. Биотическое сообщество — это любая совокупность популяций, населяющих определенную территорию (биотоп), это своего рода организационная единица в том смысле, что она обладает некоторыми особыми свойствами, не присущими слагающим ее компонентам — особям и популяциям. Биотическое сообщество постоянно меняет внешний облик (мысленно сравните осенний и зимний лес), при этом оно обладает собственной структурой и функциями. Биотическое сообщество — это любая совокупность популяций, населяющих определенную территорию или биотоп. Это своего рода организационная единица в том смысле, что она обладает некоторыми особыми свойствами, не присущими слагающим ее компонентам — особям и популяциям (принцип уровней интеграции, гл. Биотическое сообщество представляет собой живую часть экосистемы (гл. Термин биотическое сообщество следует понимать широко и использовать для обозначения естественных группировок различного размера — от биоты древесного ствола до биоты бескрайнего леса или океана. Биотопы фаунистических комплексов высоких водоразделов и расчленяющих их верховий речек и ручьев : - биотоп фаунистического комплекса темнохвойного (лиственнично-елово-пихтово — кедрового) леса ; 2- биотоп фаунистического комплекса темнохвойного леса с участием лиственных пород (березы и осины) ; 3- биотоп фаунистического комплекса гарей на месте темнохвойного леса,

поросших осиново-березовым лесом различного возраста ; 4- би отоп фаунистического комплекса приурочевых участков темнохвойного ( лист-веннично-пихтово-елово — кедрового ) леса ; 5- би отоп фаунистического комплекса приурочевых участков темнохвойного леса с участием лиственных пород ( березы ) ; 6- би отоп фаунистического комплекса гарей на месте приуроченных участков темнохвойного леса ; 7- би отоп фаунистического комплекса светлохвойных ( лиственничных, сосново-лиственничных и лиственнично-сосновых ) лесов. Как видим, понятие стация употребляется по отношению к популяции одного вида, а биотоп — относится к совокупности популяций разных видов, населяющих некоторую общую территорию, т.е. к биоте. Первич» структурной единицей биосфера является система, где сообщество ( биоценоз ) и неживая среда ( биотоп ) функционируют совместно. Экосистема — это система, в которой биотический компонент представлен биоценозом, абиотический — биотопом ( биоценоз биотоп экосистема ). В разделе «Методологические аспекты учения о биосфере» было показано, что физическая среда определенного географического района, т. е. биотоп, вместе с населяющими его зависящими друг от друга видами организмов, составляющими биоценоз, образуют биогеоценоз ( экосистему ). Предметом биогеоценологии и является изучение взаимоотношений между особями, относящимися к разным популяциям данной группировки, а также между ними и окружающей средой. Биоценоз — совокупность животных, растений и микроорганизмов, населяющих участок среды обитания с более или менее однородными условиями жизни ( биотоп ). Биоценоз — сообщество из продуцентов, консументов и редуцен — тов, входящих в состав одного биогеоценоза и населяющих относительно однородное пространство ( биотоп ). Несколько видоизменяя смысл этого обобщения, предлагается принять формулировку очень близкого принципа ( закона ) формирования экосистемы ( функционально-пространственной экологической целостности, связи биотоп — биоценоз ) : длительное существование организмов возможно лишь в рамках экологических систем, где их компоненты и элементы дополняют друг друга и соответственно приспособлены друг к другу. Это обеспечивает воспроизведение среды обитаний каждого вида и относительно неизменное существование всех экологических компонентов. Совершенно очевидно, что принцип формирования экосистемы есть суммарное отражение принципа экологической комплементарности ( дополнительности ) и принципа экологической конгруэнтности ( соответствия ). Очевидна его связь со всей группой правил сохранения среды обитания — видовой ( разд. Клементсу, в наиболее общем виде сукцессии проходят через фазы обнажения ( появление незаселенного пространства ), миграции ( заселение его первыми, пионерными формами жизни ), эцезиса ( колонизация и приспособление к конкретным условиям среды ), соревнования ( конкуренция с вытеснением ряда первичных поселенцев ), реакции ( обратное воздействие сообщества на биотоп и условия существования ) и стабилизации ( формирование климаксового биоценоза ). В водоемах имеются два наиболее различающихся между собой биотопа : пелагиаль ( толща воды ) и бенталь ( дно ). В соответствии с этим выделяются обитатели этих биотопов : пелагос — обитатели толщи воды и бентос — обитатели дна. По отношению к наземным животным данный термин используется как синоним стации и биотопа. В процессе развития экосистемы происходит последовательная смена природных сообществ экосистемы, изменение среды обитания или биотопа. Этот процесс называется экологической сукцессией. Различают первичную и вторичную сукцессию. Первичная сукцессия начинается на участке, который не был занят перед заселением каким-либо сообществом. Вторичная сукцессия развивается на площади, с которой было предварительно удалено ранее существовавшее сообщество. Примером первичной сукцессии может служить развитие экосистемы на острове, возникшем в результате подводного извержения вулкана. Примером второй сукцессии может служить развитие экосистемы на вырубке леса или заброшенном поле. Вторичная сукцессия протекает обычно более быстро, так как в этом случае территория более благоприятна для развития сообщества, на ней имеются уже некоторые организмы. Наглядным примером сукцессии в водной среде является развитие искусственного водоема. Члены сообщества так тесно взаимодействуют со средой обитания, что биоценоз часто трудно рассматривать отдельно от биотопа. Провести четкую грань между биоценозом,

всегда занимающим какой-то определенный биотоп, и экосистемой, представляющей единство биоценоза и биотопа, довольно трудно. Распределение экологических обобщений, касающихся этих двух классов образований, по «ячейкам» параграфов весьма условно. Вновь начать приходится с определения понятий, их объема и смысла. При этом в чистом виде ни фитоценоз, ни зооценоз, ни микробиоценоз в природе не встречаются, как и биоценоз в отрыве от биотопа. Провести четкую грань между биоценозом, всегда занимающим какой-то определенный биотоп, и экологической системой (экосистемой), представляющей собой единство биоценоза и биотопа, достаточно сложно. Так, биотопом популяций лесных видов животных и растений является лес. Более крупные территориальные единицы, являющиеся элементами географического ландшафта, носят название биохоров (от греч. Иначе говоря, биохор — это совокупность сходных биотопов. Например, любые пустыни относятся к биохору пустынь, а любые лесные массивы объединяются в биохор — лес. Любой биоценоз развивается на неорганическом субстрате, называемом биотопом, занимающим географические районы различной площади, преобладающие условия которых отличаются однородностью. Биотоп характеризуется определенным сочетанием абиотических факторов: географическими условиями, солнечной радиацией, ветром, температурой, влажностью, течениями, концентрацией и количеством минеральных элементов. Каждый биотоп составляет физическую основу биоценоза, характеризующегося совокупностью экологических факторов, единство которых определяет его характеристику. Взаимодействие абиотических факторов и живых организмов экосистемы сопровождается непрерывным круговоротом вещества между биотопом и биоценозом в виде чередующихся то органических, то минеральных соединений. Обмен химических элементов между живыми организмами и неорганической средой, различные стадии которого происходят внутри экосистемы, называют биогеохимическим круговоротом, или биогеохимическим циклом. Бесконечное взаимодействие абиотических факторов и живых организмов экосистемы сопровождается непрерывным круговоротом вещества между биотопом и биоценозом в виде чередующихся то органических, то минеральных соединений. При изучении экосистем анализируют прежде всего поток энергии и круговорот веществ между соответствующими биотопом и биоценозом. Экосистемный подход учитывает общность организации всех сообществ независимо от местообитания. Это подтверждает сходство структуры и функционирования наземной и водной экосистем. Экосистема — это система, в которой биотический компонент представлен биоценозом, абиотический — биотопом (биоценоз биотоп экосистема). Биогеоценоз наземная экологическая система, объединяющая на основе обмена веществ, энергии и информации сообщество живых организмов (биоценоз) с пространственной совокупностью абиотических условий (биотопом). В биотопе обозначена педосфера. Можно ли утверждать, что она является чисто абиотическим компонентом экосистемы, как атмосфера, гидросфера и литосфера. **ВОДНАЯ ЭКОСИСТЕМА** — экосистема, в биотопе которой преобладает вода в жидким ее состоянии (например, озеро, пруд, болото). Биоценоз — совокупность популяций, которая функционирует в определенном пространстве абиотической среды — биотопе. Сукцессия — последовательная смена биогеоценозов, преимущественно возникающих на одной и той же территории (биотопе) под влиянием природных факторов или воздействия человека. Под термином сукцессия подразумевается последовательная смена сообществ, преимущественно возникающих на одной и той же территории (биотопе) под влиянием экологических факторов. Сукцессия связана с развитием и изменениями в экосистемах. Экологические сукцессии наблюдаются повсюду вокруг нас: но вторжении сорняков на заброшенные поля, в обрастиании корпуса затопленных кораблей, в изменениях сообщества растений после прекращения выпаса и др. Сукцессия четко проявляется в захвате новой, ранее не заселенной среды обитания, а в зрелых экосистемах в восстановлении поврежденных участков. В процессе сукцессии происходит самоорганизация сообщества экосистемы. 1- ба лл численности — встречаются единичные особи; 3- ба лл 2 численности — зверьки постоянно живут и размножаются в биотопе, и численность вида довольно значительна; 4- ба лл 3 численности — максимальная населенность биотопа данным видом. Насекомоядные и грызуны в верхней Лены») касается относительной стабильности популяций как систем, то

это свойство возвращает нас к правилу объединения в популяции, с которого начат этот раздел. БИОГЕОХИМИЧЕСКИЕ АНОМАЛИИ — массовые нарушения развития, роста и функционирования живых организмов, наблюдаемые на определенной территории ( биогеохимической провинции ) и вызванные недостаточным или избыточным содержанием в среде ( биотопе ) определенных элементов. Изменения в общей продуктивности, дыхании и биомассе в ходе типичной сукцессии показаны на По мере прохождения фаз сукцессии все большая доля доступных питательных веществ накапливается в биомассе сообщества и соответственно уменьшается их содержание в абиотической части экосистемы ( биотопе ). По мере возрастания количества образующегося детрита он становится основным источником питания. В результате роль пастищных цепей становится менее существенной, а детрит-ных — усиливается. Любой биоценоз занимает определенный участок абиотической среды. Биотоп — пространство с более или менее однородными условиями, заселенное тем или иным сообществом организмов. Любой биоценоз развивается на неорганическом субстрате, называемом биотопом, занимающим географические районы различной площади, преобладающие условия которых отличаются однородностью. Биотоп характеризуется определенным сочетанием абиотических факторов : географическими условиями, солнечной радиацией, ветром, температурой, влажностью, течениями, концентрацией и количеством минеральных элементов. Каждый биотоп составляет физическую основу биоценоза, характеризующуюся совокупностью экологических факторов, единство которых определяет его характеристику. Любая единица 1 биосистемы ), вкгчч «; ая все совместно функционирующие организации ( биотическое сообщество ) на данном участке и взаимодействующая с физической сре-о Я таким образом, что поток Энергии создает чекуко определенные биотические структуры и круговорот веществ между живой я неживой частями, представляет собой вколог тческую систему или экосистему ( С. В этом случае биотоп иосто-ит из вог,, донных отложений и их физико-химических характерно 1 — «и. Биоценоза включает в себя сосуществование растет», животных и микрооргг 1ИЭМОВ, находящихся в разных отношениях : мутуализм 1 вза «мошгододе сожительство разных видов ), антлгониэм ( Хицник-жвртва ). Рассмотрим, который схематично иллюстрирует состав экосистемы. Верхний полукруг - биотоп — означает неживые абиотические компоненты : атмосферу, гидросферу, литосферу, педосферу ( почву ). Нижний полукруг — природное сообщество ( биоценоз ). Два больших полукруга и все полукруги меньших размеров соединены стрелками с двумя остриями. Однородные участки суши или воды, заселенные живыми организмами называются биотопами ( местами жизни ). Исторически сложившееся сообщество организмов разных видов, населяющих биотоп, называется биоценозом, или биомом. Любая экосистема — это прежде всего топографическая единица ( территория или объем ). Участок среды обитания живых организмов экосистемы, характеризующийся определенными экологическими условиями, называется биотоп. Биотоп — это абиотический компонент экосистемы. Экологические условия биотопа могут различаться как по характеру среды : суши, водоем, болото, пустыня, лес и т.д., так и по физико-химическим параметрам климата : температуре, давлению, влажности, ветрам и т.д. Биотическую часть экосистемы составляет биоценоз — сообщество живых организмов, населяющих участок среды обитания с определенными экологическими условиями ( биотоп ). Термин «биоценоз» впервые применил Мебиус ( 1877 ), изучая группу организмов устричной банки, т. е. с самого начала это сообщество организмов было ограничено неким «географическим» пространством, в данном случае границами отмели. В дальнейшем это пространство было названо биотопом, под которым понимаются условия окружающей среды на определенной территории : воздух, вода, почвы и подстилающие их горные породы. Именно в этой окружающей среде существуют растительность, животный мир и микроорганизмы, составляющие биоценоз. Экологические условия биотопа могут различаться как по характеру среды : суши, водоем, болото, пустыня, лес и т.д., так и по физико-химическим параметрам климата : температуре, давлению, влажности, ветрам и т.д. Биотическую часть экосистемы составляет биоценоз — сообщество живых организмов, населяющих участок среды обитания с определенными экологическими условиями ( биотоп ). Только наличие замкнутого круговорота вещества между биотопом и биоценозом делает

их единым целым, т.е. системой, обеспечивает устойчивость экосистемы и позволяет существовать жизни в ней практически неограниченное время. Это изменение может быть достаточно заметным, экологические ниши иными, даже способны образоваться новые виды, скажем, вирусов ( мы, как правило, рассматриваем крупнейших представителей флоры и фауны, забывая, что мир зиждется не только и не столько на них, сколько на микроорганизмах и ультрамикроорганизмах ). Тишлера утверждает заменяемость частей ценоза и необязательную связь этих частей со всей системой, но лишь с общей основой их и ее существования — грубо говоря, с биотопом. Согласно правилу ( принципу ) экологического дублирования ( разд. Однако в ходе сукцессии ( разд. Заменимость частей ценоза относительна и в процессе сукцессии : как правило, она детерминирована в масштабах всего ценоза биотопом его развития. Конечно, лишь в случае моноклимакса. Термин введен немецким биологом К. Любой биоценоз развивается на неорганическом субстрате ( биотопе ), который характеризуется определенным сочетанием абиотических параметров. Сравним искусственную экосистему космического корабля с какой-либо естественной, например экосистемой пруда. Наблюдения показывают, что количество организмов в этом биотопе остается ( с некоторыми сезонными колебаниями ) в основном постоянным. Такую экосистему называют стабильной. Равновесие сохраняется до тех пор, пока не изменятся внешние факторы. Основные из них приток и отток воды, поступление различных питательных веществ, солнечное излучение. В экосистеме пруда живут различные организмы. Так, после создания искусственного водохранилища оно постепенно заселяется бактериями, планктоном, затем рыбами, высшими растениями. Когда развитие достигло определенной вершины и внешние воздействия остаются долгое время неизменными ( приток воды, веществ, излучения, с одной стороны, и отток или испарение, вынос веществ и опок энергии — с другой ), экосистема пруда стабилизируется. Между живыми существами устанавливается равновесие. Сравним искусственную экосистему космического корабля с какой-либо естественной, например, с экосистемой пруда. Наблюдения показывают, что количество организмов в этом биотопе остается ( с некоторыми сезонными колебаниями ) в основном постоянным. Такую экосистему называют стабильной. Биоценоз и биогеоценоз — более высокие уровни организации живой материи, — объединяющие разные по видовому составу организмы. В биоценозе они взаимодействуют друг с другом не определенном участке земной поверхности ( или акватории ) с однородными абиотическими факторами ( биотопе ). Советским геоботаником академиком СукачЗвым ( 1660-1967 было создано учение о биогеоценозе как кирпичике биосфера, где связь биоценоза и биотопа выражена в виде взаимообмена веществом и анеригией. Далее рассмотрим влияние загрязнителей на водоемы и водотоки. Водоемы и водотоки представляют собой сложные экологические системы ( экосистемы ) существования биоценоза ( сообщества живых организмов — животных и растений ) в биотопе ( в окружающей неживой природе — рельеф дна водоема, температура и состав примесей в воде ). Водоемы не только служат сборниками воды, в которых показатели качества вод усредняются, но в них непрерывно протекают процессы изменения состава примесей — приближение к равновесию, которое может быть нарушено по многим причинам, но особенно в результате сброса в водоем загрязненных ( сточных ) вод. Одум ( 1986 ) под экологической сукцессией понимает вообще весь процесс развития экосистемы. Более конкретное определение дает этому явлению Н. Ф. Реймерс ( 1990 ) : «Сукцессия — последовательная смена биоценозов, преимущественно возникающая на одной и той же территории ( биотопе ) под влиянием природных факторов ( в том числе и внутренних противоречий самих биоценозов ) или воздействия человека». Изменения в сообществе в результате сукцессии носят закономерный характер и обусловлены взаимодействием организмов между собой и с окружающей абиотической средой. Одум ( 1986 ) под экологической сукцессией понимает вообще весь процесс развития экосистемы. Более конкретное определение дает этому явлению Н. Ф. Реймерс ( 1990 ) : «Сукцессия — последовательная смена биоценозов, преимущественно возникающая на одной и той же территории ( биотопе ) под влиянием природных факторов ( в том числе и внутренних противоречий самих биоценозов ) или воздействия человека». Изменения в сообществе в

результате сукцессии носят закономерный характер и обусловлены взаимодействием организмов между собой и с окружающей абиотической средой. Любая экосистема — это прежде всего топографическая единица ( территория или объем ). Участок среды обитания живых организмов экосистемы, характеризующийся определенными экологическими условиями, называется биотоп. Биотоп — это абиотический компонент экосистемы. Экологические условия биотопа могут различаться как по характеру среды : суши, водоем, болото, пустыня, лес и т.д., так и по физико-химическим параметрам климата : температуре, давлению, влажности, ветрам и т.д. Биотическую часть экосистемы составляет биоценоз — сообщество живых организмов, населяющих участок среды обитания с определенными экологическими условиями ( биотоп ). Любой биоценоз развивается на неорганическом субстрате, называемом биотопом, занимающим географические районы различной площади, преобладающие условия которых отличаются однородностью. Биотоп характеризуется определенным сочетанием абиотических факторов : географическими условиями, солнечной радиацией, ветром, температурой, влажностью, течениями, концентрацией и количеством минеральных элементов. Каждый биотоп составляет физическую основу биоценоза, характеризующегося совокупностью экологических факторов, единство которых определяет его характеристику. Внешние водоемы как экосистемы усваивают извне часть солнечной энергии ( в виде теплоты и света ), в них поступают из атмосферы газ, воды, а также минеральные и органические вещества. Вместе с тем, экосистемы выделяют теплоту, газы ( в основном кислород ), органические и минеральные вещества, переносимые водой. В одном и том же водоеме может существовать одновременно несколько экосистем, каждая из которых имеет свой биоценоз и биотоп. Например, виды, составляющие экосистемы пустыни, с одной стороны, приспособлены к ее климатическим и другим абиотическим условиям, а с другой — к среде экосистемы и друг к другу. Это же характерно для организмов любого биома и другого более низко или высоко стоящего в иерархии систем подразделения биосфера. В связи с этим здесь уместно привести принцип ( закон ) формирования экосистемы ( функциональнопространственной экологической целостности, связи биотоп — биоценоз ) : длительное существование организмов возможно лишь в рамках экологических систем, где их компоненты и элементы дополняют друг друга и соответственно приспособлены друг к другу, что обеспечивает воспроизведение среды обитания каждого вида и относительно неизменное существование всех экологических компонентов. Совершенно очевидно, что принцип формирования экосистемы есть суммарное отражение принципа экологической комплементарности ( дополнительности ) и принципа экологической конгруэнтности ( соответствия ). При этом для суждения о путях эволюции полезно опустить «перископ» знания вглубь прошлых миллионов лет и тысячелетий и рассматривать жизнь тех периодов с уровня того времени, а не исходя из явлений современного мира. И с этого геологического «момента» начал действовать принцип Реди : живое происходит только от живого, между живым и неживым веществом существует непроходимая граница, хотя и имеется постоянное взаимодействие. Обобщение, сделанное итальянским естествоиспытателем и врачом Франциско Реди ( 1626- 1698 ), было заново сформулировано В. И. Вернадским в 1924 г. Именно этот принцип служит подосновой сложения экосистем в рамках трех первых закономерностей, сформулированных в разделе 3.9.1-разграничение между живым и неживым и взаимосвязь между ними формирует дополнительность и соответствие внутри биотического сообщества и связь биотоп — биоценоз. Компоненты биоценоза и их абиотическое окружение настолько тесно связаны между собой, что образуют ; единство, для которого А.Г. Тенсли в 1935 г. предложил термин «экосистема» ; в современной экологии соответствующий раздел называется учением об экосистемах. В отечественной и немецкой литературе распространено представление о биогеоценозе, введенное В.Н. Сукачевым. Биогеоценоз — единство биоценоза и биотопа, приуроченного к определенному участку земной поверхности, тогда как экосистема — более широкое понятие. Биоиндикаторы между ними и поэтому в совокупности образующие единый, внутренне взаимообусловленный комплекс». На показана структура биогеоценоза и схема взаимодействия между его компонентами. Видно, что биогеоценоз является совокупностью биоценоза и биотопа ( экотопа ). Биогеоценоз часто используется как

сионим термина «экосистема», однако эти понятия не совсем совпадают, так как последний является более общим по сравнению с биогеоценозом. ЭКОСИСТЕМА ( ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ) — Любое сообщество живых существ и его среда обитания, объединенные в единое целое из-за взаимозависимости и причинно-следственных связей, существующих между отдельными средообразующими компонентами. Выделяют микроэкосистемы ( например, ствол гниющего дерева ), мезоэкосистемы ( лес, пруд и т.д. ) и макроэкосистемы ( океан, континент и т. п. ). Биогеоценоз правильнее рассматривать как иерархически элементарную, комплексную, т.е. состоящую из биотопа и биоценоза, а. Информационно саморазвивающаяся, термодинамически открытая совокупность вещества и энергии, единство и функциональная связь которых в пределах характерного для определенного участка биосфера времени и пространства обеспечивают превышение на этом участке внутренних закономерных перемещений вещества, энергии и информации над внешним обменом ( в том числе между соседними аналогичными совокупностями ) и на основе этого неопределенно долгую саморегуляцию и развитие целого под управляющим воздействием биотических и биогенных составляющих. Биоценоз представляет собой биологическую систему, которая является совокупностью популяций различных видов растений, животных и микроорганизмов, обитающих на определенной территории. Биоценоз включает в себя фотоценоз, зооценоз, микробиоценоз. Таким образом, биогеоценоз представляет собой единое целое биоценоза и его среды обитания - биотопа, причем биоценоз играет важную роль в формировании, создании среды своего обитания. Биоценоз и биогеоценоз — более высокие уровни организации живой материи, — объединяющие разные по видовому составу организмы. В биоценозе они взаимодействуют друг с другом не определенном участке земной поверхности ( или акватории ) с однородными абиотическими факторами ( биотопе ). Советским геоботаником академиком Сукачевым ( 1860-1967 ) было создано учение о биогеоценозе как кирпичике биосферы, где связь биоценоза и биотопа выражена в виде взаимообмена веществом и анеригией. Целостность — обобщенная характеристика системы, свойства которой несводимы к сумме свойств ее элементов и невыводимы из этих свойств ( целостность организмов более полной будет в популяции, популяции — в биоценозе и т. д., и свойства каждой системы несводимы к свойствам нижестоящих ). Структурность — установление структуры и взаимозависимости структурных элементов, обусловленности поведения системы ее структурой ( структура биоценоза, трофическая структура экосистемы и установление измеримых связей между трофическими уровнями, и др. ). Взаимозависимость системы и среды выражается в формировании и проявлении ее свойств в результате их взаимодействия ( взаимодействие биоценоза и биотопа, популяций в биоценозе и т. п. ). Иерархичность — это когда каждый компонент системы может рассматриваться как самостоятельная система, а сама исследуемая система является составной частью более широкой системы ( уровни биологической организации, вплоть до глобальной системы — биосфера ). Целостность — обобщенная характеристика системы, свойства которой несводимы к сумме свойств ее элементов и невыводимы из этих свойств ( целостность организмов более полной будет в популяции, популяции — в биоценозе и т. д., и свойства каждой системы несводимы к свойствам нижестоящих ). Структурность — установление структуры и взаимозависимости структурных элементов, обусловленности поведения системы ее структурой ( структура биоценоза, трофическая структура экосистемы и установление измеримых связей между трофическими уровнями, и др. ). Взаимозависимость системы и среды выражается в формировании и проявлении ее свойств в результате этого взаимодействия ( взаимодействие биоценоза и биотопа, популяций в биоценозе и т. п. ). Иерархичность — это когда каждый компонент системы может рассматриваться как самостоятельная система, а сама исследуемая система является составной частью более широкой системы ( уровни биологической организации, вплоть до глобальной системы — биосфера ). Биоценоз — это надорганизменная система, состоящая из трех компонентов : растительности, животных и микроорганизмов. В такой системе отдельные виды, популяции и группы видов могут заменяться соответственно другими без особого ущерба для содружества, а сама система существует за счет уравновешивания сил антагонизма между видами. Стабильность сообщества определяется количественной

регуляцией численности одних видов другими, а его размеры зависят от внешних причин — от величины территории с однородными абиотическими свойствами, т. е. биотопа. Функционируя в непрерывном единстве биоценоз и биотоп образуют биогеоценоз, или экосистему. Границы биоценоза совпадают с границами биотопа и, следовательно, с границами экосистемы. Биотическое сообщество ( биоценоз ) — это более высокий уровень организации, чем популяция, которая является его составной частью. Биоценоз обладает сложной внутренней структурой. Выделяют видовую и пространственную структуры биоценозов. Биоценоз — это надорганизменная система, состоящая из трех компонентов : растительности, животных и микроорганизмов. В такой системе отдельные виды, популяции и группы видов могут заменяться соответственно другими без особого ущерба для содружества, а сама система существует за счет уравновешивания сил антагонизма между видами. Стабильность сообщества определяется количественной регуляцией численности одних видов другими, а его размеры зависят от внешних причин — от величины территории с однородными абиотическими свойствами, т. е. биотопа. Функционируя в непрерывном единстве биоценоз и биотоп образуют биогеоценоз, или экосистему. Границы биоценоза совпадают с границами биотопа и, следовательно, с границами экосистемы. Биотическое сообщество ( биоценоз ) — это более высокий уровень организации, чем популяция, которая является его составной частью. Биоценоз обладает сложной внутренней структурой. Выделяют видовую и пространственную структуры биоценозов.

Продуктивность биоценозов. Лучистая энергия солнца, усваиваемая зелеными автотрофными растениями, превращается в энергию химических связей синтезируемого вещества. Скорость фиксации солнечной энергии определяет продукцию биоценозов. Основной показатель продукции — биомасса организмов (растительных и животных), составляющих биоценоз. Биомасса — выраженное в единицах массы или энергии количество живого вещества организмов, приходящееся на единицу площади или объема (например, г/м<sup>2</sup>, г/м<sup>3</sup>, кг/га, т/км<sup>2</sup> и др.). Используют массу либо сырого, либо, чаще всего, сухого вещества. Различают растительную биомассу — фитомассу, животную — зоомассу, бактериомассу, биомассу каких-либо конкретных групп или организмов отдельных видов. Величина биомассы меняется в зависимости от сезона года, миграций животных, степени ее потребления консументами разных порядков. Например, в условиях Республики Беларусь самая низкая величина биомассы травянистых многолетних растений бывает поздней осенью, зимой и ранней весной. В период с мая по октябрь ее величина значительно увеличивается за счет роста надземных частей растений. Продукция. Биологической продукцией называется биомасса, производимая биоценозом на единице площади за единицу времени. Она выражается в тех же величинах, что и биомасса, но с указанием времени, за которое она создана (например, кг/га за месяц). Различают два вида продукции — первичную и вторичную. Биомасса, произведенная автотрофными организмами (зелеными растениями) на единице площади за единицу времени, называется первичной продукцией. Ее величина определяет продуктивность всех звеньев гетеротрофных организмов экосистемы. Суммарная продукция фотосинтеза называется первичной валовой продукцией. Это вся химическая энергия в форме произведенного органического вещества. При этом часть энергии может идти на поддержание жизнедеятельности (дыхание) самих производителей продукции — растений. Если мы изымем ту часть энергии, которая тратится растениями на дыхание, то получим чистую первичную продукцию. Ее можно легко учесть. Достаточно сбрить, высушить и взвесить растительную массу, например, при уборке урожая. В природных биоценозах дыхание уменьшает продуктивность более, чем наполовину. По мере старения растения доля потребляемой на дыхание энергии растет. Несмотря на то, что растения активно поглощают солнечный свет, КПД этих маленьких зеленых фабрик невелик. К примеру, вся продукция хлебного поля в пересчете на сухое вещество составляет 8—10 т/га. В широколиственном лесу выход продукции еще меньше — 4—5 т/га. Экологи давно пытались оценить первичную продукцию экосистем земного шара. С одной стороны, нужно было знать достоверные цифры продуктивности зеленого покрова планеты, а с другой — попытаться прогнозировать увеличение выхода продукции в результате применения усовершенствованных технологий выращивания и улучшения посадочного материала.

Численность населения растет, а площадь плодородной земли не увеличивается. Поэтому увеличение КПД наших зеленых друзей является наиболее насущной проблемой при решении первейших задач жизнеобеспеченности человека. Вторичная продукция — это биомасса, созданная всеми консументами биоценоза за единицу времени. При ее подсчете вычисления производят отдельно для каждого трофического уровня, потому что при движении энергии от одного трофического уровня к другому она прирастает за счет поступления с предыдущего уровня. Общую продуктивность биоценоза нельзя вычислить как простую арифметическую сумму первичной и вторичной продукции, потому что прирост вторичной продукции всегда происходит не параллельно росту первичной, а за счет уничтожения какой-то ее части. Происходит как бы изъятие, вычитание вторичной продукции из общего количества первичной. Поэтому оценку продуктивности биоценоза всегда производят по первичной продукции. Если оценить соотношение первичной и вторичной продукции, то первая окажется во много раз больше второй. В целом вторичная продуктивность колеблется от 1 до 10%. Жизнь в экосистеме поддерживается благодаря непрекращающемуся необратимому прохождению энергии, передаваемой от одного трофического уровня к другому; при этом происходит превращение энергии из одних форм в другие. Вещества атмосферы, в отличие от энергии, используются многократно и совершают биологический круговорот. Скорость превращения энергии Солнца в энергию химических связей определяет продукцию биоценозов, которая выражается в биомассе организмов. Биомасса продуцентов представляет первичную продукцию, биомасса консументов — вторичную. Вторичная продукция в биоценозе значительно меньше первичной из-за потерь энергии при передаче ее с одного трофического уровня на другой.

4. Концепция продуктивности экосистем. Совокупность организмов в экосистеме в момент наблюдения называют биомассой, скорость продуцирования биомассы — продуктивностью. Различают первичную продуктивность — скорость, с которой продуценты (зеленые растения) в процессе фотосинтеза связывают энергию и запасают ее в форме органических веществ, и вторичную продуктивность — скорость образования биомассы консументами. Высокая продуктивность сельского хозяйства в развитых странах поддерживается ценой больших вложений энергии и селекционной работой, направленной на выведение высокоурожайных сортов растений и высокопродуктивных пород животных. Этот вспомогательный поток энергии называется энергетической субсидией. Если в XIX в. страны мира делились на промышленно развитые и аграрные, то в XX возникла ситуация, при которой чем более развита страна, тем выше продуктивность ее сельского хозяйства. Именно развитые страны могут себе позволить соответствующие энергетические субсидии в сельское хозяйство. Существует принципиальная разница в поведении энергии и материи. Материя циркулирует в системе; элементы и вещества, входящие в состав живого, имеют свои циклы, свои круговороты. Энергия, однажды использованная экосистемой, превращается в тепло и утрачивается для системы.

5. Внутреннее равновесие экосистем. Закон внутреннего динамического равновесия экосистем Реймерса Н.Ф.: вещество, энергия, информация и динамические качества отдельных природных систем и их иерархии взаимосвязаны настолько, что любое изменение одного из этих показателей вызывает сопутствующие функционально-структурные, количественные и качественные перемены, сохраняющие общую сумму вещественно-энергетических, информационных и динамических качеств системы, где эти изменения происходят, или в их иерархии. Данный закон раскрывает механизм экологического баланса. Окружающая среда находится в состоянии динамического равновесия. Она непрерывно балансирует, выравнивая рождение и смерть, микро- и макроэволюцию, разные энергетические и химические процессы. Из рассмотренного закона вытекают 4 важные следствия, 1. Любые изменения среды (вещества, энергии, информации, динамических качеств экосистемы) неизбежно приводят к развитию природных цепных реакций, идущих в сторону нейтрализации произведенного изменения или формирования новых природных систем, образование которых при значительных изменениях среды может принять необратимый характер. Под цепной реакцией в природе понимается цепь природных явлений, каждое из которых влечет за собой изменение других, связанных с ним явлений. Подтверждением действия рассматриваемой закономерности являются следующие примеры.

Распаханный луг через некоторое время при отсутствии дальнейшего воздействия возвращается в естественное исходное состояние, т.е. наблюдается нейтрализация произведенных изменений. При сильном загрязнении озеро теряет возможность самоочищения, развиваются анаэробные организмы, и оно превращается в болото, т.е. формируется новая природная система. 2. Взаимодействие вещественно-энергетических экологических компонентов (энергия, газы, жидкости, продуценты, консументы и т.д.), информации и динамических качеств природных систем нелинейно, т.е. слабое воздействие или изменение одного из показателей может вызвать сильные отклонения в других и во всей системе в целом. Например, малые отклонения в газовом составе атмосферы в связи с ее загрязнением оксидами серы и азота вызывают огромные изменения в экосистемах суши и водной среды. Именно они приводят к возникновению кислотных осадков, которые, в свою очередь, вызывают деградацию и гибель лесов, обезрыбливание озер и т.п. Столь же абсолютно незначительное изменение концентрации углекислого газа в атмосфере ведет к усилению парникового эффекта. 3. Производимые в крупных экосистемах изменения относительно необратимы - проходя по иерархии экосистем снизу вверх, от места воздействия до биосфера в целом, они меняют глобальные процессы и тем самым переводят их на новый эволюционный уровень. Подтверждают данное следствие примеры, приведенные в предыдущем пункте. Изменения химического состава атмосферы, ее температуры, влажности, освещенности и т.п. приводят к возникновению новых, более приспособленных к новым условиям экологических систем, т.е. направляют эволюцию биосфера. При этом экологическая система не может снова вернуться к прежнему состоянию (даже при установлении исходных условий среды), как и организм (вид, популяция) не в состоянии повторить полностью своих предков или вернуться от старости к рождению. 4. Любое местное преобразование природы вызывает в биосфере и в ее крупных подразделениях ответные реакции, приводящие к относительной неизменности эколого-экономического потенциала, увеличение которого возможно лишь путем значительного возрастать, энергетических вложений. Сдвигая динамическое равновесное состояние природных систем с помощью значительных вложений энергии (например, путем распашки и других приемов) для увеличения получаемой полезной продукции (урожая) или создания благоприятного для жизни и деятельности человека состояния среды, люди нарушают соотношение энергетических компонентов. Если эти сдвиги гаснут в иерархии природных систем и не вызывают термодинамического разлада, положение благоприятно или, во всяком случае, терпимо. Однако излишнее вложение энергии и возникающий в результате вещественно-энергетический разлад ведут к снижению природно-ресурсного потенциала вплоть до опустынивания территории, происходящего без компенсации. Иногда возникают ситуации, когда "чем больше пустынь мы превращаем в сады, тем больше садов мы превращаем в пустыни". При этом в силу нелинейности процессов опустынивание по темпам значительно опережает создание "цветущих садов". 6. Климатическая зональность и типы наземных экосистем. Размещение по земной поверхности основных наземных экосистем определяют два абиотических фактора – температура и количество осадков. Климат в разных районах земного шара неодинаков, и поэтому существует климатическая зональность в размещении (распределении) экосистем. Выделяют три группы экосистем: 1) наземные; 2) пресноводные; 3) морские. Наземные экосистемы включают в себя девять видов: 1) тундра – арктическая и альпийская; 2) boreальные леса хвойные – тайга; 3) листвопадный лес умеренной зоны – широколистственные леса; 4) степь умеренной зоны; 5) чапараль – районы с дождливой зимой и засушливым летом; 6) тропические злаковники (гравеланд) и саванна; 7) пустыня – травянистая и кустарниковая; 8) полувечнозеленый сезонный (листвопадный) тропический лес – районы с выраженным влажным и сухим сезонами; 9) вечнозеленый тропический дождевой лес. Тундры находятся в, Северном полушарии к северу от хвойных лесов. Климат очень холодный с полярным днем и полярной ночью, среднегодовая температура  $-5^{\circ}\text{C}$ . Из растительности здесь господствуют медленно растущие лишайники, мхи, злаки и осоки, стелющиеся или карликовые кустарники (брюслица, черника, карликовая бересклет). Животный мир: крупные травоядные копытные (северный олень, мускусный бык), хищники – песец, рысь, горностай, полярная сова, мелкие млекопитающие (лемминги),

Летом в тундре гнездятся перелетные птицы, в том числе водоплавающие. Заболоченные участки и болота бывают низинные (имеют, как правило, питание подземными водами) и верховые (питаются атмосферными осадками). Верховые болота могут встречаться в любом понижении (углублении рельефа) или даже на склонах гор, низинные возникают вследствие зарастания озер и речных стариц. Здесь распространены болотные растения (ряска, аир болотный, тростник, осока). Болотные почвы и торфяники содержат много углерода. Их сельскохозяйственная обработка приводит в выделению в атмосферу большого количества углекислого газа. Животный мир болот очень беден, представлен птицами – выпь, цапля, кулик и др.; земноводными – лягушки; насекомыми – комары. Тайга ( boreальные хвойные леса) – северные районы Европы, Азии и Северной Америки. Климат: долгая и холодная зима, много осадков выпадает в виде снега. Растительность: преобладают вечнозеленые хвойные леса (ель, пихта, сибирская кедровая сосна, лиственница, сосна) с мощной лесной подстилкой. Животный мир: крупные травоядные копытные (лось, северный олень), мелкие растительноядные, млекопитающие (заяц-беляк, белка, грызуны), волк, рысь, лисица и другие хищники, многочисленные кровососущие насекомые в теплый период времени года. Почвы подзолистые и дерново-подзолистые – маломощные и бедные.

7. Понятие о биосфере как глобальной экологической системе. Биосфера - глобальная экологическая система планеты, включающая в себя все живые организмы вместе со средой их обитания. Биосфера представляет собой совокупность частей земных оболочек (лито-, гидро- и атмосферы), которая заселена живыми организмами, находится под их влиянием и занята продуктами их жизнедеятельности. В 20-е годы X X -го столетия учение о биосфере было развито и преобразовано выдающимся естествоиспытателем академиком В.И. Вернадским. Он впервые подчеркнул исключительную роль живых организмов в образовании биосферы. По его определению, биосфера - структурная оболочка Земли, созданная самой жизнью, где не только живут, но которая преобразована живыми организмами и связана с их жизнедеятельностью. Таким образом, биосфера - это и среда жизни, и результат жизнедеятельности организмов.

Размеры биосферы. По учению В.И. Вернадского, биосфера - это область нашей планеты, в которой существует или когда-либо существовала жизнь и которая постоянно подвергается воздействию живых организмов. Поэтому биосфера представляет собой область существования не только современных экосистем, но и включает области, где находятся вещества, возникшие в результате жизнедеятельности живых организмов. Такие вещества называют биогенными. Почти весь кислород атмосферы имеет биогенное происхождение. Биогенными являются также многие полезные ископаемые (нефть, уголь, газ и др.). Благодаря такому подходу В.И. Вернадский существенно расширил границы биосферы, включив в нее всю гидросферу (глубиной до 11 км), нижние слои атмосферы (до озонового слоя, высотой 25-35 км), где сосредоточен практически весь кислород, и часть литосферы до глубины залегания полезных ископаемых биогенного происхождения (8-10 м, реже 3 км).

Структура биосферы. Биосфера имеет иерархическую структуру. Традиционно в структуре биосферы выделяют атмосферу, гидросферу и литосферу. Атмосфера делится на слои в зависимости от температуры воздуха: ниже 0°C - альтибиосфера, выше 0 °C - тропобиосфера. Гидросфера включает в себя океанобиосферу и аквабиосферу, т.е. солено- и пресноводную среду, и также делится на слои в зависимости от освещенности: фото-, дисфото- и афотосфера. Гео(био)сфера состоит из террабиосферы (твердо-водной среды) и литобиосферы (твердо-воздушной среды). Выделенные подсфера включают экосистемы различного иерархического уровня. Состав биосферы включает 7 глубоко разнородных частей: живое вещество; биогенное вещество: косное вещество: биокосное вещество; вещество в радиоактивном распаде: вещество рассеянных атомов, не связанных химическими реакциями; вещество космического происхождения. Живое вещество совокупность организмов на планете (растительный и животный мир, микроорганизмы). Биогенное вещество - совокупность веществ, возникших в результате жизнедеятельности организмов (торф, нефть, мел, природный газ и др.). Косное вещество - совокупность веществ, в образовании которых живые организмы не участвуют, т.е. горные породы магматического, неорганического происхождения, вода, Биокосное вещество - продукты распада и переработки горных и осадочных пород живыми организмами (почва, продукты распада и переработки горных и осадочных пород живыми организмами (почва,

природные воды). 2. Основные функции биосфера Благодаря способности трансформировать солнечную энергию в энергию химических связей, растения и другие организмы выполняют ряд фундаментальных биологических функций планетарного масштаба. Газовая функция. Живые существа постоянно обмениваются кислородом и углекислым газом с окружающей средой в процессах фотосинтеза и дыхания. Растения сыграли решающую роль в формировании состава современной атмосферы. Они строго контролируют концентрации кислорода и углекислого газа, оптимальные для современной биоты. Концентрационная функция. В процессе эволюции организмы научились извлекать из разбавленного водного раствора и других компонентов природной среды необходимые для них вещества, многократно увеличивая их концентрацию в своем теле. Таким образом, пропуская через свое тело большие объемы воздуха и природных растворов, живые организмы осуществляют биогенную миграцию и концентрирование химических элементов и их соединений. Окислительно-восстановительная функция. Многие вещества в природе крайне устойчивы и не подвергаются окислению при обычных условиях. Живые клетки обладают настолько эффективным катализатором - ферментами, что способны осуществлять многие окислительно-восстановительные реакции в миллионы раз быстрее, чем это может происходить в абиотической среде. Благодаря этому живые организмы существенно ускоряют процессы миграции химических элементов в биосфере. Информационная функция. С появлением первых живых существ на планете появилась и активная ("живая") информация, отличающаяся от той "мертвой" информации, которая является простым отражением структуры. Организмы оказались способными к получению информации путем соединения потока энергии с активной молекулярной структурой, играющей роль программы. Способность воспринимать, хранить и передавать молекулярную информацию совершила опережающую эволюцию в природе и стала важнейшим экологическим системообразующим фактором. Перечисленные функции живого вещества образуют мощную средообразующую функцию биосфера. Деятельность живых организмов обусловила современный состав атмосферы. Растительный покров существенно определяет водный баланс, распределение влаги и климатические особенности больших пространств. Живые организмы играют ведущую роль в самоочищении воздушной и водной сред. Благодаря растениям, животным и микроорганизмам создается почва и поддерживается ее плодородие. Таким образом, биота биосфера формирует и контролирует состояние окружающей среды. Следует четко представлять, что окружающая нас среда - это не возникшая когда-то фиксированная и непреходящая физическая должность, а живое дыхание природы, каждое мгновение создаваемое работой множества живых существ. 3. Биогеохимические круговороты веществ в биосфере Круговорот веществ - закономерный процесс многократного участия веществ в явлениях, протекающих в биосфере планеты. Вещество, вовлеченное в круговорот, не только перемещается, но и испытывает трансформацию и нередко меняет свое физическое и химическое состояния. Особенно активную роль в ускорении круговорота и трансформации играют живые организмы. Солнечная энергия на Земле вызывает два вида круговоротов веществ: большой (биогеохимический) - в пределах биосфера; малый (биотический) - в пределах элементарных экологических систем. Большой круговорот веществ - это безостановочный планетарный процесс закономерного циклического, неравномерного во времени и пространстве перераспределения вещества, энергии и информации, многократно входящих в непрерывно обновляющиеся экологические системы биосфера. Малый круговорот веществ развивается на основе большого и заключается в круговой циркуляции веществ между почвой, растениями, микроорганизмами и животными. Оба круговорота взаимосвязаны и представляют собой единый процесс, который обеспечивает воспроизводство живого вещества и оказывает активное влияние на облик биосфера. На нашей планете всегда существовал геохимический круговорот веществ, но с появлением жизни на Земле геохимические связи стали биогеохимическими - более сложными и разнообразными. Поэтому говорят о биогеохимическом круговороте веществ или биогеохимическом цикле. Различают три основных типа биогеохимических круговоротов: 1) круговорот воды; круговорот элементов преимущественно в газовой фазе (кислорода, углерода, азота и др.);

круговорот элементов преимущественно в твердой и жидкой фазах (фосфора и др.). Круговорот углерода на суше начинается с фиксации углекислого газа растениями в процессе фотосинтеза. Из CO<sub>2</sub> и H<sub>2</sub>O образуются углеводы и высвобождается кислород, Фиксированный в растениях углерод в некоторой степени потребляется животными. Отжившие животные и растения разлагаются микроорганизмами, в результате чего углерод мертвого органического вещества окисляется до углекислого газа и снова попадает в атмосферу. Кроме того, углерод частично выделяется на всех стадиях круговорота в составе CO<sub>2</sub> во время дыхания растений и животных. Подобный круговорот углерода совершается и в океане. Круговорот азота (рис.5). Азот, которого очень много в атмосфере, усваивается растениями лишь после соединения его с водородом или кислородом. Это, как правило, происходит в результате различных физических явлений, протекающих в атмосфере (атмосферная фиксация) и производстве (промышленная фиксация), а также в результате действия азотфикссирующих бактерий или водорослей (биофиксация). Соединения азота используются растениями и через них по пищевым цепям попадают к животным. Растительные и животные отходы, мертвые организмы разлагаются, и с помощью денитрифицирующих бактерий происходит восстановление азота и возвращение его в атмосферу.

8. Структура и границы биосферы. Биосфера (от греч. bios - жизнь и sphaira - шар) - оболочка Земли, состав, структура и свойства которой в той или иной степени определяются настоящей или прошлой деятельностью живых организмов. Термин «биосфера» был впервые введен в науку Э.Зюссом. Биосфера Зюсса - это сфера обитания живых организмов. Тем не менее, заслуга создания целостного учения о биосфере принадлежит В.И.Вернадскому, так как именно он развил представление о живом веществе как огромной геологической (биогеохимической) силе, преобразующей свою среду обитания. По Вернадскому, в состав биосферы входят следующие типы веществ:

1. Живое вещество — живые организмы, населяющие нашу планету.
2. Косное вещество — неживые тела, образующиеся в результате процессов, не связанных с деятельностью живых организмов (породы магматического и метаморфического происхождения, некоторые осадочные породы).
3. Биогенное вещество — неживые тела, образующиеся в результате деятельности живых организмов (некоторые осадочные породы: известняки, мел и др., а также нефть, газ, каменный уголь, кислород атмосферы и др.)
4. Биокосное вещество — биокосные тела, представляющие собой результат совместной деятельности живых организмов и геологических процессов (почва, илы, кора выветривания и др.).
5. Радиоактивное вещество — атомы радиоактивных элементов — уран, торий, радий и др.

6. Рассеянные атомы - отдельные атомы элементов, встречающиеся в природе в рассеянном состоянии (в таком состоянии часто существуют атомы микро- и ультрамикроэлементов: Mn, Zn, Au, Hg и др.). 7. Вещество космического происхождения - вещество, поступающее на поверхность Земли из космоса (метеориты, космическая пыль). Биосфера имеет определенные границы. Она занимает нижнюю часть атмосферы, верхние слои литосферы и всю гидросферу. Вглубь Земли живые организмы проникают на небольшое расстояние. В литосфере распространение жизни ограничивается, прежде всего, температурой горных пород и подземных вод, которая постепенно возрастает с глубиной и на уровне 1,5-15 км превышает 1000С. Наибольшая глубина, на которой в породах земной коры были обнаружены живые бактерии, составляет 4 км. В океане жизнь распространена до более значительных глубин и встречается даже на дне океанических впадин в 10-11 км от поверхности.

Лимитирующим фактором проникновения жизни вверх является жесткое космическое излучение. На высоте 25-30 км большую часть ультрафиолетового излучения Солнца поглощает находящийся здесь относительно тонкий слой озона - озоновый экран. Если живые организмы поднимаются выше защитного слоя озона, они погибают. Несмотря на то, что споры бактерий и грибов обнаруживаются до высоты 20-22 км, основная часть аэропланктона сосредоточена в слое до 1 – 1,5 км. В горах граница распространения наземной жизни – около 6 км над уровнем моря.

Биосфера неоднородна и мозаична. Океаны и континенты - горизонтальная структурная особенность планеты, определяющая в общих чертах строение биосферы.

9. круговорот веществ в биосфере. Все структурные компоненты биосферы - горные породы, природные воды, газы, почвы, растительность,

животные, микроорганизмы - связаны непрекращающимся процессом круговорота веществ. Круговорот веществ - важный фактор существования биосфера, поддерживающий ее целостность и устойчивость. Каждый элемент, входящий в состав живого вещества, поступает в организм из окружающей среды, вовлекается в процесс клеточного метаболизма, после чего снова возвращается в окружающую среду, а затем опять используется живой природой. Этот круговорот активных элементов называется биогенной миграцией атомов (в отличие от происходящих на Земле физико-химических перемещений веществ в воде, атмосфере, почве, породах земной коры и пр). Для биогенной миграции характерна аккумуляция, концентрация элементов в живых организмах, и обратный процесс - минерализация: освобождение элементов при разложении мертвых организмов бактериями. Основные элементы биогенной миграции - водород, кислород, углерод, азот, калий, кальций, фосфор, сера и др. Химические элементы многократно вовлекаются в круговорот веществ. Это важное условие существования биосферы. Если бы этого не было, запасы любого элемента на Земле быстро иссякли бы и жизнь прекратилась. Однако циклы круговорота элементов не замкнуты: некоторая часть биосферного вещества, благодаря концентрирующей функции живых организмов, выходит из круговорота за пределы современной биосферы, в глубокие слои земной коры. (Вот почему каждое последующее состояние биосферы не повторяет предшествующего, биосфера постоянно обновляется, что способствует ее прогрессивному эволюционному развитию.) Так, круговорот углерода совершается в течение 3-5 тыс. лет. Доля углерода, выходящего из этого цикла, ничтожно мала - около стомиллионной доли процента от общего количества находящегося в обращении углерода. Но за всю геологическую историю биосферы таких "выходов" углерода за пределы биосферного круговорота произошло около 100 тыс., и это привело к накоплению в геологическом прошлом триллионов тонн ископаемого органического вещества, запасенного в углях, нефти, битумах, горючих сланцах. Таким образом, специфическая черта биосферы как особой оболочки Земли - непрерывно происходящий в ней круговорот веществ.

10. Баланс энергии в биосфере. Поток энергии на земном шаре имеет три источника: кинетическая энергия оборота Земли и ее спутника Луны как космических тел. Она проявляется в морских приливах, энергия которых недоступна живым организмам, но может использоваться человеком; энергия земных недр, которая поддерживается ядерным распадом урана и тория. Эта энергия выделяется в форме геотермического тепла. В вулканических районах она используется для отопления оранжерей и бассейнов; солнечная энергия, на базе которой осуществляется жизнедеятельность в автотрофных организмах. На Солнце энергия возникает в результате ядерных превращений. Главное из них - это превращение водорода в гелий через дейтерий. Лучистая энергия Солнца проявляется в амплитуде длины волн от 0,3 до 2,0 мкм. Доля ультрафиолетового излучения в ней невелика. Оно в основном задерживается озоновым экраном планеты. Приток энергии к наружной поверхности атмосферы планеты от Солнца сравнительно постоянный - это так называемая солнечная постоянная, равная 1,93 кал/см<sup>2</sup> за 1 мин. Она отклоняется от среднего значения всего лишь на 0,1-0,2%. Но длительных наблюдений по величине солнечной постоянной пока не велось и ее многовековые тенденции не известны. По неофициальным данным, специалисты считают, что в течение последнего миллиарда лет солнечная постоянная не менялась. Всего к Земле доходит  $10,5 \times 10^6$  кДж/м<sup>2</sup> в год лучистой энергии. Но 40% сразу отражается в космическое пространство, а 15% поглощается атмосферой: превращается в тепло, либо расходуется на испарение воды. В атмосфере в основном солнечную радиацию поглощает водяной пар. В океанах эту роль выполняет жидкость (вода), на суше - горные породы и грунт. Большая часть радиации отражается в атмосферу от поверхности льда и снега. Всю биосферу можно расценивать как единственное природное образование, поглощающее энергию из космического пространства и направляющее ее на внутреннюю работу. В биосфере энергия только переходит из одной формы в другую и рассеивается в виде тепла. Основными преобразователями энергии в биосфере являются живые организмы. Они превращают вольную лучистую энергию в химически связанные, которая затем переходит от одних биосферных структур к другим. При каждом переходе часть энергии превращается в тепло и теряется в окружающем пространстве. Растения и земная поверхность в среднем в год поглощают

$5 \times 10^6$  кДж/м<sup>2</sup> энергии. Эта величина различна на разных широтах. Эффективность переноса энергии в живом веществе довольно низкая. При ее переносе от продуцентов до консументов первого порядка она составляет всего 10%, а при переносе от консументов первого порядка до консументов второго порядка - 20%. Итак, видно, что травоядные животные менее эффективно используют пищу, чем плотоядные. Это во многих случаях связано с химическим составом пищи. В растениях преобладают лигнин и целлюлоза и есть защитные вещества от фитофагов. Завершается поток энергии на редуценты, где энергия или же окончательно рассеивается в виде тепла, либо аккумулируется в мертвый органическом веществе (детрит). Одной из форм длительного сохранения аккумулированной энергии является нефть, уголь и торф. Поток солнечной энергии, который поступает в биосферу, приводит в действие биохимический круговорот. Как отмечено, в отличие от круговоротов воды и других веществ, поток энергии движется в одном направлении. Если падающий поток солнечной энергии имеет радиальный (вертикальный) направление, то дальнейший его путь имеет преимущественно горизонтальный (латеральный) характер. Большим энергетическим потенциалом отмечаются латеральные потоки воздушных масс (ветер), которые, проникая в лесные или луговые фитоценозы, расшатывают стволы и стебли, розворушают листовые пластинки или цветы, поднимают и переносят семена, охлаждают нагретый растительное среду, способствуя тем самым дальнейшей трансформации возбужденной механической энергии в тепловую или химическую. Латеральные снежные заносы способствуют накоплению влаги в полезащитных полосах и опушках лесных экосистем, что впоследствии повысит энергию биохимических процессов. Латеральные потоки энергии приливов способствуют более быстрому круговороту минеральных элементов питания, перемещению корма и отходов. Человечество научилось использовать дополнительную энергию природы, создав современные технологии возобновляемой энергии. Радиальные и латеральные потоки энергии могут возникать и в результате антропогенной деятельности. Прежде всего это радиальные потоки химических, металлургических, горноперерабатывающая предприятия и тепловых электростанций, которые выносят в атмосферу огромное количество токсичных выбросов. Далее они уже латеральными воздушными потоками (часто трансконтинентальными) переносятся на большие расстояния и опять таки радиальными потоками опускаются на земную поверхность. Эти потоки механической энергии является транспортом для химической энергии, которая проявляет себя в биологических процессах конкретных наземных и водных биогеоценозов. Крупные города и индустриальные центры являются мощными источниками латеральных тепловых потоков, которые перемещаются от ядра города к его окраинам. Часто вместе с тепловыми потоками перемещаются латерала поллютантов, в основном автотранспортные выбросы, а также пыль. В крупных городах наблюдается рассеивание тепловой энергии (энтропия), которая ведет к ксерофилизации атмосферного и грунтового воздуха и алкализации (ощелачивание) городских почв. Эти латеральные тепловые и поллютантов-загрязняющие потоки энергии меняют растительный и животный мир природных ландшафтов, создают новую живом веществе городов, которая пока слабо изучена. Антропогенная энергия (химическая, тепловая, химическая) может концентрироваться в отдельных природных экосистемах, повышая их производительность (агроэкосистемы), или же, при неумелом включении этой энергии в естественный поток, приводить к их деградации. Учитывая, что энергия - общий знаменатель и исходная движущая сила всех экосистем - как сконструированных человеком, так и природных, Ю. Одум (1986) предлагает принять энергию за основу для "первичной" классификации экосистем. Итак, по уровню поступления энергии в экосистеме их разделяют на четыре группы: • природные, которыми движет Солнце; • природные, которыми движут Солнце и другие природные источники; • подвижные Солнцем и субсидируемые человеком; • индустриально-городские, содержащихся топливом (добытым из полезных ископаемых, другими органическими или ядерными источниками). Приведенные Ю. Одум примеры объясняют особенности функционирования этих систем, которые можно было бы отнести по иерархическому рангу к биогеоценотических комплексов и даже биомов. В параметры биологической системы не укладывается индустриально-городская экосистема, которая

является одной из разновидностей социально-экономических систем. Остановимся лишь на индустриально-городской экосистеме, которую Ю. Одум в одной работе называет "венцом" достижений человечества, в другой - его "опухолью". Города по мере роста цен на топливо, вероятно, станут больше интересоваться использованием солнечной энергии. Возможно, возникнет новый тип экосистемы города, какой будет двигать Солнце с вспомогательной энергией топлива.

## 2. Полнота биотического круговорота.

**Биотический (биологический) круговорот.** Под биотическим (биологическим) круговоротом понимается циркуляция веществ между почвой, растениями, животными и микроорганизмами (рис. 12.10). По определению Н. П. Ремезова, Л. Е. Родина и Н. И. Базилевич, биотический (биологический) круговорот — это поступление химических элементов из почвы, воды и атмосферы в живые организмы, превращение в них поступающих элементов в новые сложные соединения и возвращение их обратно в процессе жизнедеятельности с ежегодным опадом части органического вещества или с полностью отмершими организмами, входящими в состав экосистемы (Н. Ф. Реймерс, 1990).

Первичный биотический круговорот по Т.А. Акимовой, В.В. Хаскину (1994) состоял из примитивных одноклеточных продуцентов (П) и редуцентов-деструкторов (Д). Микроорганизмы способны быстро размножаться и приспособливаться к разным условиям, например, использовать в своем питании всевозможные субстраты — источники углерода. Высшие организмы такими способностями не обладают. В целостных экосистемах они могут существовать в виде надстройки на фундаменте микроорганизмов.

Вначале развиваются многоклеточные растения (Р) — высшие продуценты. Вместе с одноклеточными они создают в процессе фотосинтеза органическое вещество, используя энергию солнечного излучения. В дальнейшем подключаются первичные консументы — растительноядные животные (Т), а затем и плотоядные консументы. Нами был рассмотрен биотический круговорот суши. Это в полной мере относится и к биотическому круговороту водных экосистем, например океана.

Все организмы занимают определенное место в биотическом круговороте и выполняют свои функции по трансформации достающихся им ветвей потока энергии и по передаче биомассы. Всех объединяет, обезличивает их вещества и замыкает общий круг система одноклеточных редуцентов (деструкторов). В абиотическую среду биосфера они возвращают все элементы, необходимые для новых и новых оборотов.

Следует подчеркнуть наиболее важные особенности биотического круговорота.

Фотосинтез относится к мощному естественному процессу, вовлекающему ежегодно в круговорот огромные массы вещества биосфера и определяющему ее высокий кислородный потенциал. Он выступает регулятором основных геохимических процессов в биосфере и фактором, определяющим наличие свободной энергии верхних оболочек земного шара. Фотосинтез представляет собой химическую реакцию, которая протекает, как известно, за счет солнечной энергии при участии хлорофилла зеленых растений:



За счет углекислоты и воды синтезируется органическое вещество и выделяется свободный кислород. Прямыми продуктами фотосинтеза являются различные органические соединения, а в целом процесс фотосинтеза носит довольно сложный характер.

Глюкоза является простейшим продуктом фотосинтеза, образование которой совершается следующим путем:



Помимо фотосинтеза с участием кислорода (так называемый кислородный фотосинтез) следует остановиться и на бескислородном фотосинтезе, или хемосинтезе (рис. 12.12).

К хемосинтезирующим организмам относятся нитрификаторы, карбоксидобактерии, серобактерии, тионовые железобактерии, водородные бактерии. Они называются так по субстратам окисления, которыми могут быть  $\text{NH}_3$ ,  $\text{NO}_2$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{S}$ ,  $\text{Fe}^{2+}$ ,  $\text{H}_2$ . Некоторые виды — облигатные хемолитоавтотрофы, другие — факультативные. К последним относятся

карбоксидобактерии и водородные бактерии. Хемосинтез характерен для глубоководных гидротермальных источников.

Фотосинтез происходит за немногим исключением на всей поверхности Земли, создает огромный геохимический эффект и может быть выражен как количество всей массы углерода, вовлекаемой ежегодно в построение органического — живого вещества всей биосфера. В общий круговорот материи, связанной с построением путем фотосинтеза органического вещества, вовлекаются и такие химические элементы, как N, P, S, а также металлы — K, Ca, Mg, Na, Al.

При гибели организма происходит обратный процесс — разложение органического вещества путем окисления, гниения и т. д. с образованием конечных продуктов разложения. Следовательно, общую реакцию фотосинтеза можно выразить в глобальном масштабе следующим образом:



В биосфере Земли этот процесс приводит к тому, что количество биомассы живого вещества приобретает тенденцию к определенному постоянству. Биомасса экосферы ( $2 \times 10^{12}$  т) на семь порядков меньше массы земной коры ( $2 \times 10^{19}$  т). Растения Земли ежегодно производят органическое вещество, равное  $1,6 \times 10^{11}$  т, или 8% биомассы экосферы. Деструкторы, составляющие менее 1% суммарной биомассы организмов планеты, перерабатывают массу органического вещества, в 10 раз превосходящую их собственную биомассу. В среднем период обновления биомассы равен 12,5 годам. Допустим, что масса живого вещества и продуктивность биосфера были такими же от кембрия до современности (530 млн лет), то суммарное количество органического вещества, которое прошло через глобальный биотический круговорот и было использовано жизнью на планете, составит  $2 \times 10^{12} \times 5,3 \times 10^8 / 12,5 = 8,5 \times 10^{19}$  т, что в 4 раза больше массы земной коры. По поводу данных расчетов Н. С. Печуркин (1988) писал: «Мы можем утверждать, что атомы, составляющие наши тела, побывали в древних бактериях, и в динозаврах, и в мамонтах».

Закон биогенной миграции атомов В. И. Вернадского гласит: «Миграция химических элементов на земной поверхности и в биосфере в целом осуществляется или при непосредственном участии живого вещества (биогенная миграция), или же она протекает в среде, геохимические особенности которой ( $O_2$ ,  $CO_2$ ,  $H_2$  и т. д.) обусловлены живым веществом, как тем, которое в настоящее время населяет биосферу, так и тем, которое действовало на Земле в течение всей геологической истории».

В. И. Вернадский в 1928—1930 гг. в своих глубоких обобщениях относительно процессов в биосфере дал представление о пяти основных биогеохимических функциях живого вещества.

Первая функция — газовая. Большинство газов верхних горизонтов планеты порождено жизнью. Подземные горючие газы являются продуктами разложения органических веществ растительного происхождения, захороненных ранее в осадочных толщах. Наиболее распространенный — это болотный газ — метан ( $CH_4$ ).

Вторая функция — концентрационная. Организмы накапливают в своих телах многие химические элементы. Среди них на первом месте стоит углерод. Содержание углерода в углях по степени концентрации в тысячи раз больше, чем в среднем для земной коры. Нефть — концентратор углерода и водорода, так как имеет биогенное происхождение. Среди металлов по концентрации первое место занимает кальций. Целые горные хребты сложены остатками животных с известковым скелетом. Концентраторами кремния являются диатомовые водоросли, радиолярии и некоторые губки, йода — водоросли ламинарии, железа и марганца — особые бактерии. Позвоночными животными накапливается фосфор, сосредотачиваясь в их костях.

Третья функция — окислительно-восстановительная. В истории многих химических элементов с переменной валентностью она играет важную роль. Организмы, обитающие в разных водоемах, в процессе своей жизнедеятельности и после гибели регулируют кислородный режим и тем самым создают условия, благоприятные для растворения или же осаждения ряда металлов с переменной валентностью (V, Mn, Fe).

Четвертая функция — биохимическая. Она связана с ростом, размножением и перемещением живых организмов в пространстве. Размножение приводит к быстрому распространению живых организмов, «расползанию» живого вещества в разные географические области.

Пятая функция — это биогеохимическая деятельность человечества, охватывающая все возрастающее количество вещества земной коры для нужд промышленности, транспорта, сельского хозяйства. Данная функция занимает особое место в истории земного шара и заслуживает внимательного отношения и изучения. Таким образом, все живое население нашей планеты — живое вещество — находится в постоянном круговороте биофильных химических элементов. Биологический круговорот веществ в биосфере связан с большим геологическим круговоротом

### 3. Особенности сукцессии наземных экосистем.

**Наземные экосистемы (биомы)** входят в состав биосферы и в основном определяются растительностью.

**Водные** системы меньше зависят от климата. Они формируются в зависимости глубины водоема, содержания растворимых солей, глубины проникновения солнечных лучей, количества растворенного в воде кислорода, доступности питательных элементов и температуры воды.

Водные экосистемы могут постепенно превращаться в наземные.

### **Основной принцип функционирования экосистем:**

они существуют за счет не загрязняющей среду и практически вечной солнечной энергии, количество которой относительно постоянно и избыточно (характеристиками солнечной энергии являются: избыток, чистота, постоянство, вечность).

Относительно стабильное соотношение скоростей автотрофных и гетеротрофных процессов на Земле существует благодаря способности экосистем и биосфера к саморегуляции, которая поддерживает экологическое равновесие в биосфере.

**Саморегуляция экосистем** обеспечивается внутренними механизмами, устойчивыми взаимодействиями между их компонентами, трофическими и энергетическими связями.

В экосистемах управление основано на обратных связях, когда часть сигналов с выхода из системы вновь поступает на вход, регулируя состояние системы на выходе.

**Обратные информационные связи** необходимы для сохранения равновесия в экосистемах. Они бывают положительными и отрицательными.

Положительная обратная связь является «саморазгоняющейся». Она усиливает односторонние изменения в системе дополнительной информацией, поступающей с выхода системы на вход.

Отрицательная обратная связь — это поток информации в систему, противодействующий изменениям внешних условий. Для живых систем используют термин гомеостатические механизмы или гомеостаз - механизмы, поддерживающие стабильное состояние.

В экосистемах в результате взаимодействия круговорота веществ, потоков энергии и сигналов обратной связи от субсистем возникает саморегулирующийся гомеостаз без регуляции извне из «постоянной точки».

**Гомеостаз** - это способность популяции или экосистемы поддерживать устойчивое динамическое равновесие в изменяющихся условиях среды с помощью обратных связей.

Все живые существа и человек, так же как и экосистемы, являются саморегулирующимися гомеостатическими системами, поддерживающими равновесие главным образом за счет отрицательных обратных связей.

Экосистема способна поддерживать относительную стабильность своего состояния.

**Стабильность экосистем** означает свойство любой системы возвращаться в исходное состояние после того, как она была выведена из состояния равновесия.

Стабильность определяется устойчивостью экосистем к внешним воздействиям.

### **Выделяют два типа устойчивости:**

**1. резистентную** - это способность экосистемы сопротивляться нарушениям, поддерживая неизменными свою структуру и функции;

**2. упругую** – способность системы быстро восстанавливаться после нарушения структуры и функций.

Огромное значение в сохранении стабильности биосфера в целом имеет биологическое разнообразие.

**Биоразнообразие** - наиболее ценный ресурс планеты, который возник в результате естественного отбора за миллиарды лет при взаимодействии двух процессов: видообразования и вымирания видов.

Биоразнообразие включает два понятия:

- **видовое** – многообразие различных видов организмов внутри биоценоза;
- **генетическое** – многообразие генетических программ у особей одного вида.

Одной из особенностей биоценозов является **суточная и сезонная или годовая динамика**.

Суточная динамика биогеоценозов связана с ритмикой природных явлений и носит строго периодический характер.

Более существенные отклонения наблюдаются при сезонной динамике. Они обусловлены биологическими циклами организмов, зависящими от сезонной цикличности природных явлений.

Закономерное развитие экосистем во времени называют **экологической сукцессией**.

**Экологическая сукцессия** – это закономерная последовательная смена биоценозов, преимущественно возникающих на одном и том же биотопе под воздействием природных или антропогенных факторов.

**Выделяют два типа сукцессий:**

**Ø первичные**(начинается на абсолютно лишенном жизни месте – вновь появившиеся песчаные дюны, послеледниковый период, поднятие островов из океана);

**Ø вторичные**(сообщество развивается на месте, где ранее был хорошо развитый биоценоз – результаты пожаров, наводнений, распашки степей, вырубки лесов, осушения болот) сукцессии.

Скорость сукцессий различна. Для первичных сукцессий требуются сотни и тысячи лет. Вторичные протекают быстрее.

Сукцессии обычно начинаются в незрелых несбалансированных сообществах, у которых скорости продукции органического вещества **П** либо больше, либо меньше скорости дыхания **Д**.

Сообщество стремится к более стабильному, зрелому состоянию, где **П = Д**.

Сукцессия, начинающаяся:

**Ø при П < Д - автотрофная,**

**Ø при П > Д - гетеротрофная.**

Отношение **П / Д** является функциональным показателем зрелости экосистем.

**Автотрофная** сукцессия - широко распространенное в природе явление, которое начинается в незаселенной среде.

Она характеризуется длительным преобладанием автотрофных организмов, при котором соотношение **П / Д > 1**. В процессе сукцессии **П / Д** стремится к 1.

При **П > Д** постепенно растут биомасса организмов **Б** и отношение биомассы к продукции **Б / П**, т.е. увеличиваются размеры организмов. По мере роста продукции **П** растет и величина ее расходов на дыхание **Д**.

**Гетеротрофная** сукцессия характеризуется преобладанием в системе редуцентов и встречается тогда, когда среда пересыщена органическими веществами.

При гетеротрофных сукцессиях отношение **П / Д < 1**, а органические вещества могут постепенно разлагаться и исчезать, и тогда из-за отсутствия автотрофных процессов система может разрушиться.

Обычно система стремится к стабильному состоянию, при котором **П / Д = 1**.

Изменения основных характеристик экосистем при аутогенных сукцессиях отличаются от изменений, происходящих при аллогенных сукцессиях, причинами которых является воздействие человека.

Аутогенные сукцессии – это естественное закономерное биотическое развитие экосистем, идущее по автотрофному типу. В процессе сукцессии популяции организмов и функциональные связи между ними закономерно и обратимо сменяют друг друга.

**Аутогенная сукцессия** – это направленное предсказуемое и обратимое развитие экосистемы до установления равновесия между биотическим сообществом – биоценозом и абиотической средой – биотопом.

**Аллогенные сукцессии** экосистем, вызванные человеком, приводят к их упрощению.

Состояние стабилизированной экосистемы называется климаксом.

Цепь сменяющих друг друга биоценозов называется сукцессионным рядом.

Смены фауны и флоры в истории Земли похожи на медленно протекающие экологические сукцессии. Они тесно связаны с геологическими и климатическими изменениями и видообразованием. Такие процессы протекают на протяжении миллионов лет и называются эволюцией.

**Эволюция экосистем** представляет собой длительные процессы исторического развития, которые необратимы и ацикличны.

## **Лекция 12 (Л-12) Характеристика основных типов экосистем**

1. Наземные экосистемы

2. Первичная продукция разных наземных экосистем.

3. Водные экосистемы

### **Основные вопросы:**

1. Наземные экосистемы

#### **Наземные экосистемы:**

Размещение по земной поверхности основных наземных биомов определяют два абиотических фактора – температура и количество осадков. Климат в разных районах земного шара неодинаков. Годовая сумма осадков меняется от 0 до 2500 мм и более. В связи с неравномерностью выпадения осадков различают влажные – гумидные (до 2000 мм/год) и засушливые (менее 250 мм/год) – аридные зоны; умеренные зоны расположены там, где выпадает промежуточное количество осадков (250–750 мм/год). При этом они выпадают равномерно в течение года или их основная доля приходится на определенный период – влажный сезон. Среднегодовая температура также варьирует от отрицательных величин до 38° С. Температуры могут быть практически постоянными в течение всего года (у экватора) или меняться по сезонам.

**1. Тундры** (в северном полушарии к северу от тайги). Климат очень холодный с полярным днем и полярной ночью, среднегодовая температура ниже 0° С. За несколько недель короткого лета земля оттаивает не более чем на один метр в глубину. Осадков менее 200–300 мм в год. Растительность: отсутствуют деревья, господствуют медленно растущие лишайники, мхи, травы (злаки и осоки), стелющиеся или карликовые кустарнички (брюслица, черника) и кустарники (карликовая бересклет). Животный мир небогат, встречаются крупные травоядные копытные – северный олень (Евразия) и карibu (Северная Америка), мелкие роющие млекопитающие (лемминги), хищники (песец, горностай, ласка). Среди птиц преобладают полярная сова, ржанка, пурпурная. Среди насекомых обильны двукрылые. Почвы тундровые – бедные с малой мощностью над слоем вечной мерзлоты. Очень ранимые экосистемы из-за медленного их восстановления.

**2. Бореальные хвойные леса (тайга)** (северные районы Евразии и Северной Америки). Климат: долгая и холодная зима, много осадков выпадает в виде снега. Растительность: господствуют вечнозеленые хвойные леса (ель, пихта, сибирская кедровая сосна, сосна обыкновенная, лиственница) с мощной лесной подстилкой. Животный мир: крупные травоядные копытные (лось), мелкие растительноядные млекопитающие (барсук, белка, бурундук), хищники (медведь, рысь, росомаха, соболь, лисица, волк, норка), обилен гнус. Характерно множество болот и озер. Почвы подзолистые, дерново-подзолистые, мерзлотно-таежные – маломощные и бедные.

**3. Листопадные леса умеренной зоны (широколиственные леса)** (Западная Европа, Восточная Азия, восток США). Климат сезонный с зимними температурами ниже 0° С, осадков 750–1500 мм в год. Растительность: господствуют широколиственные листопадные

породы деревьев (дуб, бук, клен, липа, ясень, граб), кустарниковый подлесок, мощная лесная подстилка. Животный мир: млекопитающие (лоси, медведи, рыси, лисицы, волки, белки, землеройки), птицы (дятлы, дрозды, совы, соколы). Биота адаптирована к сезонному климату: спячка, миграции, состояние покоя в зимние месяцы. Почвы бурье и серые лесные. В этих районах человеческая цивилизация получила наибольшее развитие, поэтому большая часть широколиственных лесов заменена культурными сообществами.

**4. Степи умеренной зоны** (в Евразии) и их аналоги: **прерии** (в Северной Америки), **пампасы** (в Южной Америки), **туссоки** (в Новой Зеландии). Климатсезонный, лето от умеренного теплого до жаркого, зимние температуры ниже 0° С, осадков 250–750 мм в год. Растительность: господствуют дерновинные злаки высотой до 2 м и выше в некоторых прериях Северной Америки или до 50 см, например, в степях России, с отдельными деревьями и кустарниками на влажных участках. Животный мир: крупные растительноядные млекопитающие – бизоны, вилорогие антилопы (Северная Америка), сайгаки, а ранее дикие лошади – тарпан (Евразия), кенгуру (Австралия), жирафы, зебры, белые носороги, антилопы (Африка); мелкие роющие млекопитающие (суслики, сурки, полевки, кролики), хищники (волки, койоты, львы, леопарды, гепарды, гиены), разнообразные птицы. Почвы: черноземы (самые плодородные почвы в мире) и каштановые. Большая часть степей в настоящее время используется под пашню, пастбища, сенокосы и т.д.

**5. Чапараль** (Средиземноморье, южный берег Австралии, в Калифорнии, Мексике и Грузии). Климат мягкий умеренный (средиземноморский – дождливая зима и засушливое лето), осадков 500–700 мм. Растительность: деревья и кустарники с жесткими вечнозелеными листьями (лавр, дуб, мирт, олеандр, можжевельник, дикая фисташка). Почвы коричневые и серо-коричневые.

**6. Тропический грасленд и саванны** (Центральная и Восточная Африка, Южная Америка, Австралия, значительная часть Южной Индии). Климат сухой и жаркий большую часть года, температура высокая круглый год, осадков 250–750 мм в год, распределяются неравномерно по сезонам (влажный и сухой сезоны). Растительность: травянистая растительность (злаковые) с редкими листопадными деревьями (баобабы, акации, пальмы). Животный мир: крупные растительноядные млекопитающие (антилопы, зебры, жирафы, носороги, слоны), хищники (львы, леопарды, гепарды), птицы (африканский страус, грифы). Много кровососущих насекомых, например, муха цеце. Почвы красные ферраллитные, красно-бурые и коричнево-красные. На распаханных землях выращивают злаковые, хлопчатник, арахис, сахарный тростник.

**7. Пустыни травянистая и кустарниковая** (некоторые районы Африки, например Сахара, Ближнего Востока и Центральной Азии, Большой Бассейн и юго-запад США, север Мексики и др.). Климат очень сухой, с жарким днем и холодными ночами, осадков менее 200–250 мм в год. Растительность: ксерофитные травы и редкостойный кустарник, кактусы, множество эфемеров, быстро развивающихся после непродолжительных дождей. Корневые системы у растений обширные, поверхностные, перехватывающие влагу редких осадков или стержневые корни, проникающие в землю до уровня грунтовых вод (30 м и глубже). Животный мир: разнообразные грызуны (тушканчики, суслики), копытные (куланы, джейран, вилорогая антилопа), хищники (волк, койот, корсак). Из птиц саджа, рябки, жаворонки. Много пресмыкающихся, насекомых и паукообразных. Почвы светло-бурые, сероземы. Экосистемы хрупкие, легко нарушаются в результате перевыпаса, ветровой и водной эрозии.

**8. Полувечнозеленые сезонные листопадные тропические леса** (тропическая часть Азии, Центральная Америка). Климат со сменой сухого (4–6 месяцев) и влажного сезонов, среднегодовое количество осадков 800–1300 мм в год. Растительность: господствуют леса. Доминируют деревья верхнего яруса, сбрасывающие листья в сухой сезон. Нижний ярус образуют в основном вечнозеленые деревья и кустарники. Много лиан и эпифитов. Животный мир: практически так же богат, как в вечнозеленых тропических дождевых лесах. Характерны слоны, жирафы, буйволы. Почвы красные ферраллитные.

**9. Вечнозеленые тропические дождевые леса** (север Южной Америки, Центральная Америка, западная и центральная части экваториальной Африки, Юго-Восточная Азия,

прибрежные районы северо-запада Австралии, острова Индийского и Тихого океанов). Климат без смены сезонов в связи с близостью к экватору, среднегодовая температура выше 17°C (обычно 28° С), среднегодовое количество осадков превышает 2000–2500 мм в год. Растительность. Деревья разной высоты образуют густой полог из многих ярусов (выделяют до 10–12 ярусов). Кустарники отсутствуют, травяной покров беден. На стволах и ветвях деревьев развиваются растения-эпифиты, корни которых не достигают почвы, и деревянистые лианы, укореняющиеся в почве и взирающиеся по деревьям до их вершин. Видовое разнообразие растений огромно. Животный мир по видовому составу богаче, чем во всех других биомах вместе взятых: млекопитающие (обезьяны, ленивцы, ягуары), птицы (попугай, колибри, туканы). Встречаются многочисленные пресмыкающиеся, земноводные, насекомые с яркой окраской. Почвы красно-желтые ферраллитные – маломощные и бедные органическим веществом и минеральными элементами питания растений. Большая часть питательных веществ закреплена в биомассе растительности. При сведении тропических лесов под пашню почвы теряют плодородие за 2–3 года.

## 2.Первичная продукция разных наземных экосистем.

3.Любую совокупность организмов и неорганических компонентов окружающей их среды, в которой может осуществляться круговорот веществ, называют экологической системой или экосистемой. Экосистема, или экологическая система - биологическая система, состоящая из сообщества живых организмов (биоценоз), среды их обитания (биотоп), системы связей, осуществляющей обмен веществом и энергией между ними. Одно из основных понятий экологии. Пример экосистемы - пруд с обитающими в нём растениями, рыбами, беспозвоночными животными, микроорганизмами, составляющими живую компоненту системы, биоценоз. Каждая экосистема обладает определенной продуктивностью. Продуктивность экологической системы – это скорость, с которой производители усваивают лучистую энергию солнца в процессе фотосинтеза, образуя органическое вещество. Различают разные уровни производства, на которых создается первичная и вторичная продукция. Органическая масса, созданная производителями в единицу времени, называется первичной продукцией, а прирост за единицу времени массы потребителей – вторичной продукцией. Все живые компоненты экосистемы – производители, потребители, редуценты составляют общую биомассу (живой вес). Биомассу обычно выражают через сухой или живой вес, но можно выражать и в энергетических единицах – калориях, джоулях. Трофические структуры можно выразить графически в виде экологических пирамид. Основанием пирамиды служит уровень производителей, а последующие уровни питания образуют этажи и вершину пирамиды. Известны три основных типа экологических пирамид: 1) пирамиды биомассы, характеризующие массу живого вещества на каждом уровне; 2) пирамиды энергии, показывающие, изменение энергии на последующих трофических уровнях; 3) пирамиды чисел, отражающие численность организмов на каждом уровне. В наземных экосистемах суммарная масса растений превышает массу всех растительноядных, а их масса превышает всю биомассу хищников. Для экосистемы океана пирамида биомассы имеет перевернутый вид, т. е. характерна тенденция накапливания биомассы на более высоких уровнях. Пирамиду чисел рекомендуют приводить в табличной форме. Более совершенной является пирамида энергии, она отражает расходование энергии в трофических цепях. Знание энергетики экосистемы и количественных ее показателей позволяют точно учесть возможность изъятия из природной экосистемы того или иного количества растительной и животной биомассы без подрыва ее эффективности. Органические вещества, образованные производителями в процессе фотосинтеза или хемосинтеза, называются первичной продукцией. Биомасса, образованная за определенный промежуток времени редуцентами и потребителями экосистемы, называется вторичной продукцией. Первичная продукция делится на два вида: первичная общая продукция и первичная чистая продукция. Только небольшая часть поступающей на Землю солнечной энергии используется растениями; 44% коротковолновых излучений, выделяемых солнечной энергией, участвует в процессе фотосинтеза. Их называют активной фотосинтезирующей радиацией (излучение). Но не все активные фотосинтезирующие излучения поглощаются растениями, а только 25% энергии запасается в форме

органического вещества. Эта энергия называется начальной (первичной) валовой продукцией. Большая часть начальной валовой продукции используется на дыхание растений. Например, в лесах умеренного пояса 50—60%, а в тропических лесах — 80% начальной общей продукции расходуется на дыхание. Оставшаяся энергия переходит к питающимся растениями консументам. Это так называемая чистая продукция. На чистую начальную продукцию влияют такие факторы, как фотосинтезирующее активное излучение, вода, необходимая для растений, количество минеральных веществ, плодородие почвы и др. Воспроизведение биомассы всех живых организмов каждой экосистемы называется биологической продуктивностью. Биологическая продуктивность производится за определенный промежуток времени, например определяется за сезон, за год, за несколько лет. Биологическая продуктивность считается главным показателем малого круговорота веществ и энергии. Количество биологической продуктивности, образующейся в каждой последующей пищевой цепи малого круговорота веществ и энергии, меньше начальной цепи в 5—10 раз. Различна и образующаяся биомасса биологической продуктивности каждой экосистемы. Например, луговые степи дают больший годовой прирост биомассы, чем хвойные леса. Популяция мелких млекопитающих по сравнению с крупными обладает большей скоростью роста и размножения и дает более высокий прирост при равной биомассе. Если воспроизведение биологической продуктивности в тундре и пустыне мало, то в тропических лесах оно очень высокое. Общий перечень элементов экосистемы включает: 1. Неорганические вещества (азот, кислород, углекислый газ, вода и т.д.), содержащиеся в виде газов, жидкости и ингредиентов субстрата. 2. Органические соединения (белки, углеводы, липиды, гумус и т.д.), содержащиеся в живых организмах и отчасти в субстрате. 3. Субстрат — среда или основа, в которой постоянно обитают и развиваются организмы (верхний слой литосферы, гидросферы и ее донные отложения, отчасти атмосфера). 4. Автотрофы или продуценты, т.е. организмы, способные к фото- или хемосинтезу и являющиеся создателями органических веществ из неорганических. 5. Гетеротрофы или консументы, т.е. потребители органического вещества. 6. Редуценты, чаще всего являющиеся микроконсументами, разлагающими мертвое органическое вещество и превращающие его в неорганическое, которое способны усваивать продуценты. Различается несколько видов консументов — травоядных (или первичных) и плотоядных (или вторичных). Вторичные консументы могут быть нескольких порядков (ежик — лиса — волк — медведь). Последним биологическим компонентом экосистемы являются редуценты, которые в основном представлены микроорганизмами. Энергетическая классификация экосистем различает 4 типа: 1) природные несубсидированные экосистемы, получающие энергию только от Солнца (открытые океаны, глубокие озера, высокогорные леса); 2) природные экосистемы, субсидируемые Солнцем и другими естественными источниками (дождевые леса, приливные зоны и т.д.); 3) природные зоны, субсидируемые человеком и Солнцем (агрозкосистемы, аква-культура); 4) зоны, получавшие энергию от других экосистем в виде питания и топлива (города или урбанизированные территории).

3. Водные экосистемы

### **Пресноводные экосистемы:**

Распределение организмов в водных экосистемах зависит от степени освещенности. Выделяются следующие зоны: литоральная зона (толща воды, где солнечный свет доходит до дна), лимническая зона (толща воды до глубины, куда проникает всего 1% от солнечного света и где затухает фотосинтез), эвфотическая зона (вся освещенная толща воды — включает литоральную и лимническую зоны), профундальная зона (дно и, толща воды, куда не проникает солнечный свет). В проточных водоемах выделяют перекаты (мелководные участки с быстрым течением: дно без ила, встречаются преимущественно прикрепленные формы перифитона и бентоса) и плесы (глубоководные участки: течение медленное, на дне мягкий илистый субстрат и роющие животные). По количеству проникающего света водоемы подразделяют на две горизонтальные зоны: верхнюю или эфотическую (до 100—200 м) и нижнюю, простирающуюся до больших глубин — афотическую, где света для фотосинтеза недостаточно.

**1. Лентические экосистемы (озера, пруды, водохранилища и др.).** Литоральная зона населена двумя группами растений: укрепившиеся в дне (камыши, рогозы, кувшинки, прикрепленные водоросли и др.) и плавающие (водоросли, рдесты и др.). Животные в литорали более разнообразны, чем в других зонах водоема. Встречаются моллюски, коловратки, мшанки, личинки насекомых и др. Рыбы большую часть жизни проводят в литорали и здесь же размножаются. Многие обитающие здесь животные дышат кислородом атмосферного воздуха (лягушки, саламандры, черепахи и др.). Зоопланктон представлен ракообразными, имеющими большое значение для питания рыб (дафнии и др.). Лимническая зона. Продуценты представлены фитопланктоном. В водоемах умеренного пояса «цветение» весной связано с массовым развитием диатомовых, летом – зеленых, осенью – азотфикссирующих сине-зеленых водорослей. Зоопланктон представлен растительноядными ракообразными и коловратками. Нектон лимнической зоны – только рыбы. Профундальная зона около дна представлена бентосными формами – личинками насекомых, моллюсками, кольчатыми червями, сапротрофными бактериями и грибами.

**2. Лотические экосистемы (реки, родники, ручьи и др.)** отличаются от стоячих водоемов следующими особенностями: 1) наличие течения; 2) более активный обмен между водой и сушей; 3) более высокое содержание кислорода и более равномерное его распределение; 4) преобладание детритных цепей питания (здесь более 60% энергии консументы получают от привнесенного материала). Выделяют логические сообщества перекатов и плесов. На перекатах поселяются организмы, способные прикрепиться к субстрату (например, нитчатые водоросли) или хорошие пловцы (например, форель). На участках плеса сообщества напоминают прудовые. В больших реках прослеживается продольная зональность: в верховьях – сообщества перекатов, в низовьях и дельте – плесов, между ними местами могут возникать и те и другие. Видовой состав рыб к низовьям обедняется, но увеличиваются их размеры.

**3. Заболоченные участки и болота** бывают низинные (имеют, как правило, питание подземными водами) и верховые (питаются атмосферными осадками). Верховые могут встречаться в любом понижении или даже на склонах гор, низинные возникают вследствие зарастания озер и речных стариц. Здесь распространены болотные растения. Болотные почвы и торфяники содержат много углерода. Их сельскохозяйственная отработка приводит к выделению в атмосферу большого количества углекислого газа.

#### **Морские экосистемы:**

**1. Открытый океан** беден биогенными элементами. Эти районы можно считать «пустынями» по сравнению с прибрежными водами. Арктические и антарктические зоны более продуктивны, так как плотность планктона растет при переходе от теплых морей к холодным, и фауна рыб и китообразных здесь значительно богаче. Продуцентом выступает фитопланктон, им питается зоопланктон, а тем в свою очередь нектон. Видовое разнообразие фауны снижается с глубиной. На глубине в стабильных местообитаниях сохранились виды из далеких геологических эпох.

**2. Глубоководные рифтовые зоны** океана находятся на глубинах около 3000 м и более. Условия жизни в экосистемах глубоководных рифтовых зон очень своеобразны. Это полная темнота, огромное давление, пониженная температура воды, недостаток пищевых ресурсов, высокая концентрация сероводорода и ядовитых металлов, встречаются выходы горячих подземных вод, и т. д. В результате живущие здесь организмы претерпели следующие адаптации: редукция плавательного пузыря у рыб или заполнение его полости жировой тканью, атрофирование органов зрения, развитие органов светосвещения и др. Живые организмы представлены гигантскими червями (погонофорами), крупными двустворчатыми моллюсками, креветками, крабами и отдельными видами рыб. Продуцентами выступают сероводородные бактерии, живущие в симбиозе с моллюсками.

**3. Область континентального шельфа** является самой богатой в фаунистическом отношении. Прибрежная зона очень благоприятна по условиям питания, даже в дождевых тропических лесах нет такого разнообразия жизни, как здесь.

**4. Районы апвеллинга** расположены вдоль западных пустынных берегов континентов. Здесь наблюдается апвеллинг – подъем холодных вод с глубины океана, так

как ветры перемещают воду от крутого материкового склона, а взамен ей из глубины поднимается вода, обогащенная биогенными элементами. Эти районы богаты рыбой и птицами, живущими на островах.

**5. Эстуарии, лиманы, устья рек, прибрежные бухты и т. д.** – прибрежные водоемы, представляющие собой экотоны между пресноводными и морскими экосистемами. Это высокопродуктивные районы, где наблюдается **аутвеллинг** – привнесение биогенных элементов с суши. Они обычно входят в литоральную зону и подвержены приливам и отливам. Здесь встречаются болотные и морские травы, водоросли, рыба, крабы, креветки, устрицы и т.д.

### **Лекция 13 (Л-13) Популяционно-видовой уровень жизни**

1. Вид. Ареал. Местообитание.
2. Свойства популяции.
3. Возрастная, половая, пространственная структуры популяций.

#### **Основные вопросы:**

1. Вид. Ареал. Местообитание.

Местообитание вида – это пространственно ограниченная совокупность условий абиотической и биотической среды, обеспечивающая весь цикл развития особей (или группы особей) одного вида.

Местообитание – это территория или акватория, занимаемая популяцией (видом), с комплексом присущих ей экологических факторов. Местообитание вида является компонентом его экологической ниши. Применительно к наземным животным местообитание вида называется стацией, местообитание сообщества – биотоп.

Ценный для науки вид Ареал его сокращается в связи с освоением территорий с местообитанием вида. Необходима организация отдельных заказников в Степи и Лесостепи.

Стация – это часть местообитания вида, которая характеризуется особыми экологическими условиями, необходимыми для существования данного вида, и используется либо в ограниченное время (сезонно, суточно), либо для ог-раниченных целей (для питания, переживания неблагоприятных ситуаций, размножения и др.).

Так, например, летние местообитания видов серой утки приурочены к пойменным старицам тайги, бекасиных – к низинным евтрофным болотам пойм рек. Глухарь в весеннее время обитает вблизи мест токов по окраинам верховых торфяников. Рябчик питается и выводит птенцов в темнохвойных урёмах по днищам долин ручьев и таежных речек.

Так, например, летние местообитания видов серой утки приурочены к пойменным старицам тайги, бекасиных – к низинным евтрофным болотам пойм рек. Глухарь в весеннее время обитает вблизи мест токов по окраинам верховых торфяников. Рябчик питается и выводит птенцов в темнохвойных урёмах по днищам долин ручьев и таежных речек.

Роль конкуренции в выборе местообитания схематически иллюстрируется фиг. 103. Кривые характеризуют местообитания видов, лежащие в пределах крайних возможных для жизни границ. На графиках обозначены также оптимальные для жизни границы. При наличии конкуренции с другим близкородственным или экологически сходным видом диапазон местообитаний, возможных для данного вида, сокращается до оптимальных границ (т. е. вид распространяется в наиболее благоприятных для него местообитаниях, в которых он обладает теми или иными преимуществами по сравнению со своими конкурентами). Если же межвидовая конкуренция выражена слабо, то под влиянием внутривидовой конкуренции популяция расширяет границы своего местообитания. Тенденция к увеличению заселяемого пространства хорошо прослеживается на островах, на которых отсутствуют потенциальные конкуренты. Например, полевка *M1sgol* из часто заселяет лесные зоны на тех островах, где отсутствует ее лесной конкурент, полевка *Clethrionomys* (см. Камерон, 1964). Кроуэлл (1962) обнаружил, что численность и краевые местообитания кардинала на Бермудских островах больше, чем на континенте, так как здесь отсутствуют многие его конкуренты.

Таким образом, для сохранения редких видов часто не обязательно применение жестких форм охраны, достаточно сохранение видов-строителей сообществ через регулирование предельно допустимых нагрузок для сохранения типичных условий местообитания вида. Для успешного решения задачи сохранения биоразнообразия

необходимы паспортизация сообществ, включающих редкие виды, определение лимитирующего фактора и предельно допустимой величины его влияния.

**Вид** (лат. *species*) — основная структурная единица биологической систематики живых организмов (животных, растений и микроорганизмов)<sup>[1]</sup>; таксономическая, систематическая единица, группа особей с общими морфофункциональными, биохимическими и поведенческими признаками, способная к взаимному скрещиванию, дающему в ряду поколений плодовитое потомство, закономерно распространённая в пределах определённого ареала и сходно изменяющаяся под влиянием факторов внешней среды.

Животные распространены на Земном шаре неравномерно. Изучением особенностей распространения животных занимается наукозоогеография. Основным объектом изучения зоогеографии является ареал вида. **Ареал** — часть территории суши или акватории Земного шара, на которой постоянно встречаются популяции определенного вида животных. Ареалы могут быть естественные (возникшие в результате расселения организмов в процессе адаптации к среде) и искусственные (возникшие под влиянием антропогенного фактора).

Организмы заселяют новые территории (расширяет ареал) до тех пор, пока не столкнутся с неподходящей для себя средой, неблагоприятными факторами, с конкуренцией другого организма и т.п., что вызывает у него состояния, при котором жизненные процессы подавляются. Дальнейшая экспансия организма прекращается. Существует и обратный процесс, при котором распространение одного организма, разрушение среды обитания или изменение факторов среды может вызвать сокращение ареала вида. Наиболее показательным примером этого является сокращение ареала европейской норки, вызванное расселением норки американской. Таков общий механизм формирования границ ареалов любых организмов.

Предпосылками расселения животных являются колебания численности особей в популяциях. Расселение животных предполагает наличие первичного ареала — сравнительно небольшого района, где происходит видообразование.

Сравнение ареалов одних и тех же видов за небольшой промежуток времени (10-20 лет) позволяет судить о тенденциях, которые могут заключаться в сокращении или расширении площади, занимаемой видом. В свою очередь эти показатели свидетельствуют о численности и плотности популяций вида, а значит о его состоянии. Поэтому знание ареалов очень важно для мониторинга и прогнозирования изменений численности животных в условиях возрастающего антропогенного воздействия.

Термин ареал (от лат. *aera* — площадь, пространство) означает часть земной поверхности (территории или акватории), в пределах которой распространен и проходит полный цикл своего развития конкретный вид животного. Ареал равнозначен выражению область распространения. Ареал — столь же неотъемлемая часть характеристики какого-либо вида, как морфологические и экологические особенности. Наглядное представление о различиях ареала получают после нанесения его на карту, соединив линией крайние точки более или менее сплошного распространения данного вида. Обводя общей линией ареалы видов одного рода, можно получить ареал рода; обводя ареалы видов, принадлежащих к одному семейству, можно получить ареал семейства и т. д.

**Формы ареалов и их очертания** столь же разнообразны, как и величина. Очертания многих ареалов совпадают с ландшафтными или с физико-географическими рубежами. В умеренных областях северного полушария, а также в высоких широтах ареалы ряда видов вытянуты с запада на восток и значительно меньше — с севера на юг, т. е. носят зональный характер. Это объясняется особенностями распределения климатических условий, которые быстрее изменяются при продвижении с севера на юг, чем с запада на восток. В местах, далеко отстоящих друг от друга, но расположенных на одной широте, условия среды часто сходны.

Наиболее точное совпадение ареала с конфигурацией зоны наблюдается в тех случаях, когда вид связан с зональным типом растительности. Например, **зональные ареалы** у «степняков»: джунгарского хомячка, ряда видов сусликов и др. Ареал лапландского подорожника совпадает с зоной тундры, мохноногого сыча — с таежной

зоной; с широколиственными лесами связаны ареалы сонь — орешниковой, полчка, лесной и садовой.

В горных странах ареалы многих видов вытянуты вдоль хребтов и тоже укладываются в одну из вертикальных зон — лесную, субальпийскую и т. д.

Вытягивание ареала, обусловленное экологическими факторами, может привести к образованию так называемых **ленточных**, или **линейных**, типов ареалов. Они свойственны многим околоводным или водным животным, особенно обитателям литорали. Аналогичную форму имеют ареалы пресноводных рыб.

Нередко встречаются и **сопряженные ареалы**. Их очертания определяются границами ареала другого вида. Это бывает в том случае, когда между видами существуют экологические взаимоотношения, которые обычно носят характер пищевой связи. Как правило, она устанавливается между паразитами и хозяевами, хозяевами и сожителями, хищниками и жертвами, животными-фитофагами и их кормовыми растениями. Монофаги встречаются только там, где есть кормовое растение. Однако ареалы последних больше, поскольку распространение животных зависит не только от наличия корма, но и от других факторов. Значительно реже наблюдается сопряжение ареалов паразит хозяина. Паразиту часто требуется промежуточный хозяин, а то и два. Отсутствие одного из них, даже при наличии основного хозяина, препятствует распространению этого паразита.

Все рассмотренные выше ареалы, от узколокальных эндемичных до соизмеримых с размером материка, относятся к **сплошным** ареалам. Форма сплошного ареала объясняется наличием подходящих условий обитания вида на всем его протяжении. Доказано, каждый вид или систематическая группа берет начало из общего центра и возникает на одной территории, затем популяции вида расселяются на смежные участки, и ареал его растет. Таким образом, сплошной, непрерывный, ареал является первичным.

Часто приходится наблюдать, что ареал является **разорванным** на две или даже больше частей. Об этом следует говорить в том случае, когда отдельные части территории либо акватории обособлены друг от друга в такой степени, что никакая связь между заселяющими их популяциями вида невозможна. Так, лесная куница распространена, с одной стороны, по всей Западной Европе и в лесной полосе Восточной Европы другой, — на Кавказе. Голубая сорока гнездится только на Пиренейском полуострове и на Дальнем Востоке начиная с Забайкалья. Европейский вьюн, отсутствующий в Сибири, вновь появляется на Дальнем Востоке. Обыкновенный еж водится, с одной стороны, в Европе, Западной Сибири и Передней Азии, с другой — Дальнем Востоке. Когда ареал представлен отдельными пятнами, сравнительно близко расположенным, называют пятнистым. К примеру, горные разрывы ареалов, когда отдельные их части находятся в верхних поясах горных хребтов и отделены друг от друга более или менее широкими долинами и межгорными понижениями. Серна — высокогорный копытый зверь — в каждом горном массиве имеет изолированный ареал. Популяции ее в Пиренеях, Альпах, на Балканах, горах Таврии в Малой Азии и на Кавказе не связаны друг с другом. Аналогичный горный разрыв характерен для ареалов горных козлов.

Принципиальной разницы между разорванным и пятнистым ареалом нет. Разорванные формы ареала могут возникать в случае, когда животное преодолевает ту или иную преграду для расселения, образует за этой преградой новую обособленную колонию, площадь которой может со временем превзойти своими размерами основной ареал. Например, белка, проникшая на Камчатку и образовавшая там обособленное пятно ареала. Подобного рода разорванные ареалы образуются и в результате умышленного и неумышленного завоза животных человеком на новые места. Китайский краб населяет теперь многие водоемы Западной Европы, ряд видов европейских птиц обычны на островах Новой Зеландии.

## 2. Свойства популяции.

Важнейшее свойство популяций — самовоспроизводство. Даже несмотря на пространственную разобщенность, популяции способны неограниченно долго поддерживать свое существование в данном местообитании. Они являются устойчивыми во времени и пространстве группировками особей одного вида. К стайке рыб или воробьев не применим

термин «популяция». Такие группы могут легко распадаться под влиянием внешних факторов или смешиваться с другими. Иными словами, они не способны устойчиво воспроизводить сами себя. Это под силу лишь крупным группам, обладающим основными свойствами вида и представленным всеми категориями слагающих его особей. Таковы, например, все особи окуня в озере или все сосны в лесном массиве.

Очевидно, что наборы условий в различных местообитаниях могут несколько различаться. Под влиянием разных условий в отдельных популяциях могут возникать и накапливаться свойства, отличающие их друг от друга. Это может проявляться в небольших отклонениях строения организмов, принадлежащих к разным популяциям, их физиологических показателей (вспомните о явлении акклиматизации) других характеристик. Таким образом, популяции, как и отдельные организмы, обладают изменчивостью. Как и среди организмов, среди популяций невозможно найти двух полностью тождественных.

Изменчивость, как вы уже знаете, важнейший фактор эволюции. Популяционная изменчивость повышает внутреннее разнообразие вида. Это, в свою очередь, повышает устойчивость вида к локальным (местным) изменениям условий жизни, позволяет ему проникать и закрепляться в новых для себя условиях и районах. Можно сказать, что существование в форме популяций обогащает вид, обеспечивает его целостность и постоянное самоподдержание основных видовых свойств.

Популяции, обитающие в различных участках видового ареала (общей области распространения вида), не живут изолированно. Они взаимодействуют с популяциями других видов, образуя вместе с ними биотические сообщества? целостные системы еще более высокого уровня организации. В каждом сообществе популяция данного вида играет отведенную ей роль, занимая определенную экологическую нишу и совместно с популяциями других видов обеспечивая устойчивое функционирование сообщества.

Экологи, изучающие экологические системы, рассматривают популяции в качестве их основных элементов. Именно благодаря функционированию популяций создаются условия, способствующие поддержанию жизни.

Не отдельными организмами, а именно популяциями определяется характер и степень использования различных видов ресурсов. От популяций зависит круговорот веществ, энергетический обмен между живой и неживой природой. Совместная деятельность популяций определяет многие важные свойства биотических сообществ и экологических систем.

На основании сказанного можно дать более широкое определение популяции. Популяция? относительно изолированная группировка организмов одного вида, обладающая способностью к самоподдержанию видовых свойств и выполняющая определенную роль в сообществе живых организмов.

Популяция обладает не только биологическими свойствами составляющих ее организмов, но и собственными, которые присущи только этой группе особей в целом. Как и отдельный организм, популяция растет, совершенствуется, поддерживает сама себя. Однако групповые свойства, например обилие, рождаемость, смертность, возрастной состав, могут характеризовать только популяцию в целом и не применимы к отдельным ее особям.

Составляющие популяцию организмы связаны друг с другом различными взаимоотношениями: они совместно участвуют в размножении, они могут конкурировать друг с другом за те или иные виды ресурсов, могут поедать друг друга или вместе обороняться от хищника. Внутренние взаимоотношения в популяциях очень сложны. Поэтому реакции отдельных особей на изменения тех или иных экологических факторов и популяционные реакции часто не совпадают. Гибель отдельных организмов (например, от хищников) может улучшить качественный состав популяции (гибают слабые, остаются сильные), повысить ее способность к самоподдержанию численности.. Здесь мы сталкиваемся с одним очень важным правилом, применимым к экологическим объектам, состоящим из многих элементов, связанных друг с другом различными взаимоотношениями: о состоянии экологического объекта (будь то популяция, сообщество или экосистема) не всегда можно судить по состоянию его отдельных элементов.

Демографические показатели. Такие популяционные характеристики, как обилие, рождаемость, смертность, возрастной состав, называются демографическими показателями. Знание их очень важно для понимания законов, управляющих жизнью популяций и предугадывания происходящих в них постоянных изменений.

Изучение демографических показателей имеет большое практическое значение. Так, при заготовках древесины очень важно знать скорость восстановления леса, чтобы правильно планировать интенсивность рубок. Некоторые популяции животных используются для получения ценного пищевого или пушного сырья. Изучение других популяций (например мелких грызунов, среди которых циркулируют возбудители опасных для человека заболеваний) важно с медико-санитарной точки зрения.

Во всех этих случаях нас, прежде всего, интересуют изменения популяции в целом, предсказание этих изменений и их регулирование (например, снижение численности вредителей сельскохозяйственных угодий). Крайне необходимым для этого является знание причин и скорости популяционных изменений, а также умение измерять эти природные объекты.

### 3. Возрастная, половая, пространственная структуры популяций.

Любой популяции присуща определенная организация. Распределение особей по территории, соотношение групп особей по полу, возрасту, морфологическим, физиологическим, поведенческим и генетическим особенностям отражают соответствующую **структуре популяции**: пространственную, половую, возрастную и т.д. Структура формируется с одной стороны на основе общих биологических свойств видов, а с другой – под влиянием абиотических факторов среды и популяций других видов.

Структура популяции имеет, таким образом, приспособительный характер. Разные популяции одного вида имеют как сходные особенности, так и отличительные, характеризующие специфику экологических условий в местах их обитания.

В целом, кроме адаптивных возможностей отдельных особей, на определенных территориях формируются приспособительные черты групповой адаптации популяции как надиндивидуальной системы, что говорит о том, что приспособительные особенности популяции гораздо выше, чем у слагающих ее индивидов.

**Возрастной состав** — имеет важное значение для существования популяции. Средняя продолжительность жизни организмов и соотношение численности (или биомассы) особей различного возраста характеризуется возрастной структурой популяции. Формирование возрастной структуры происходит в результате совместного действия процессов размножения и смертности.

В любой популяции условно выделяются 3 возрастные экологические группы:

- Предрепродуктивную;
- Репродуктивную;
- Пострепродуктивную.

К предрепродуктивной группе относятся особи, еще не способные к воспроизведению. Репродуктивная — особи, способные к размножению. Пострепродуктивная — особи, утратившие способность к размножению. Длительность этих периодов сильно варьируется в зависимости от вида организмов.

При благоприятных условиях в популяции имеются все возрастные группы и поддерживается более или менее стабильный возрастной состав. В быстро растущих популяциях преобладают молодые особи, а в сокращающихся — старые, уже не способные интенсивно размножаться. Такие популяции малопродуктивны, недостаточно устойчивы.

Имеются виды с **простой возрастной структурой** популяций, которые состоят из особей практически одного возраста.

Например, все однолетние растения одной популяции весной находятся в стадии проростков, затем почти одновременно зацветают, а осенью дают семена.

У видов со **сложной возрастной структурой** популяций одновременно живут несколько поколений.

Например, в стажах слонов имеются молодые, зрелые и стареющие животные.

Популяции, включающие много генераций (разных возрастных групп) более устойчивы, менее подвержены влиянию факторов, действующих на размножение или смертность в конкретном году. Экстремальные условия могут привести к гибели наиболее уязвимых возрастных групп, но самые устойчивые выживают и дают новые генерации.

Например, человек рассматривается как биологический вид, имеющий сложную возрастную структуру. Устойчивость популяций вида проявилось, например, во время второй мировой войны.

Для исследования возрастных структур популяций используют графические приемы, например возрастные пирамиды популяции, широко используемые в демографических исследованиях (рис.3.9).

Устойчивость популяций вида в значительной степени зависит и от **половой структуры**, т.е. соотношения особей разных полов. Половые группировки внутри популяций формируются на базе различий в морфологии (форма и строение тела) и экологии различных полов.

Например, у некоторых насекомых самцы имеют крылья, а самки нет, у самцов некоторых млекопитающих имеются рога, но они отсутствуют у самок, у самцов птиц яркое оперение, а у самок маскирующее.

Экологические различия выражаются в пищевых предпочтениях (самки многих комаров сосут кровь, а самцы питаются нектаром).

Генетический механизм обеспечивает примерно равное соотношение особей обоих полов при рождении. Однако исходное соотношение вскоре нарушается в результате физиологических, поведенческих и экологических различий самцов и самок, вызывающих неравномерную смертность.

Анализ возрастной и половой структуры популяций позволяет прогнозировать ее численность на ряд ближайших поколений и лет. Это важно при оценке возможностей промысла рыбы, отстрела животных, спасения урожая от нашествий саранчи и в других случаях.

В природе каждый существующий вид представляет собой сложный комплекс или даже систему внутривидовых групп, которые охватывают особей со специфическими чертами строения, физиологии и поведения. Таким внутривидовым объединением особей является **популяция**.

Слово «популяция» происходит от латинского «популлюс» — народ, население. Следовательно, **популяция** — совокупность живущих на определенной территории особей одного вида, т.е. таких, которые скрещиваются только друг с другом. Термин «популяция» в настоящее время используют в узком смысле слова, когда говорят о конкретной внутривидовой группировке, населяющей определенный биогеоценоз, и широком, общем смысле — для обозначения обособленных групп вида независимо от того, какую территорию она занимает и какую генетическую информацию несет.

Члены одной популяции оказывают друг на друга не меньшее воздействие, чем физические факторы среды или другие обитающие совместно виды организмов. В популяциях проявляются в той или иной степени все формы связей, характерные для межвидовых отношений, но наиболее ярко выражены **мутиалистические** (взаимно выгодные) и **конкурентные**. Популяции могут быть монолитными или состоять из группировок субпопуляционного уровня - **семей, кланов, стад, стай** и т.п. Объединение организмов одного вида в популяцию создает качественно новые свойства. По сравнению со временем жизни отдельного организма популяция может существовать очень долго.

Вместе с тем популяция обладает сходством с организмом как биосистемой, так как имеет определенную структуру, целостность, генетическую программу самовоспроизведения, способность к авторе гуляции и адаптации. Взаимодействие людей с видами организмов, находящихся в среде, в природном окружении или под хозяйственным контролем человека, опосредуется обычно через популяции. Важно, что многие закономерности популяционной экологии относятся и к популяциям человека.

**Популяция** является генетической единицей вида, изменения которой осуществляют эволюцию вида. Как группа совместно обитающих особей одного вида, популяция выступает

первой надорганизменной биологической макросистемой. У популяции приспособительные возможности значительно выше, чем у составляющих ее индивидов. Популяция как биологическая единица обладает определенными структурой и функциями.

**Структура популяции** характеризуется составляющими ее особями и их распределением в пространстве.

**Функции популяции** аналогичны функциям других биологических систем. Им свойствен рост, развитие, способность поддерживать существование в постоянно меняющихся условиях, т.е. популяции обладают конкретными генетическими и экологическими характеристиками.

В популяциях действуют законы, позволяющие таким образом использовать ограниченные ресурсы среды, чтобы обеспечить оставление потомства. Популяции многих видов обладают свойствами, позволяющими им регулировать свою численность. Поддержание оптимальной в данных условиях численности называют **гомеостазом популяции**.

Таким образом, популяции, как групповые объединения, обладают рядом специфических свойств, которые не присущи каждой отдельно взятой особи. Основные характеристики популяций: численность, плотность, рождаемость, смертность, темп роста.

Популяции свойственна определенная организация. Распределение особей по территории, соотношения групп по полу, возрасту, морфологическим, физиологическим, поведенческим и генетическим особенностям отражают **структуру популяции**. Она формируется, с одной стороны, на основе общих биологических свойств вида, а с другой — под влиянием абиотических факторов среды и популяций других видов. Структура популяций имеет, следовательно, приспособительный характер.

Адаптивные возможности вида в целом как системы популяций значительно шире приспособительных особенностей каждой конкретной особи.

#### **Популяционная структура вида**

Пространство или ареал, занимаемое популяцией, может быть различным как для разных видов, так и в пределах одного вида. Величина ареала популяции определяется в значительной мере подвижностью особей или радиусом индивидуальной активности. Если радиус индивидуальной активности невелик, величина популяционного ареала обычно также невелика. В зависимости от размеров занимаемой территории можно выделить **три типа популяций**: элементарные, экологические и географические (рис. 1).

Различают половую, возрастную, генетическую, пространственную и экологическую структуру популяций.

**Половая структура популяции** представляет собой соотношение в ней особей разного пола.

**Возрастная структура популяции** — соотношение в составе популяции особей разного возраста, представляющих один или разные приплоды одного или нескольких поколений.

**Генетическая структура популяции** определяется изменчивостью и разнообразием генотипов, частотами вариаций отдельных генов — аллелей, а также разделением популяции на группы генетически близких особей, между которыми при скрещивании происходит постоянный обмен аллелями.

**Пространственная структура популяции** - характер размещения и распределения отдельных членов популяции и их группировок в ареале. Пространственная структура популяций заметно различается у оседлых и кочующих или мигрирующих животных.

**Экологическая структура популяции** представляет собой разделение всякой популяции на группы особей, по-разному взаимодействующие с факторами среды.

Каждый вид, занимая определенную территорию (**ареал**), представлен на ней системой популяций. Чем сложнее расчленена территория, занимаемая видом, тем больше возможностей для обособления отдельных популяций. Однако не в меньшей степени популяционную структуру вида определяют его биологические особенности, — такие, как подвижность составляющих его особей, степень их привязанности к территории, способность преодолевать естественные преграды.

## **Обособленность популяций**

Если члены вида постоянно перемешаются и перемешиваются на обширных пространствах, такой вид характеризуется небольшим числом крупных популяций. При слабо развитых способностях к перемещению в составе вида формируется множество мелких популяций, отражающих мозаичность ландшафта. У растений и малоподвижных животных число популяций находится в прямой зависимости от степени разнородности среды.

Степень обособленности соседних популяций вида различна. В некоторых случаях они резко разделены территорией, непригодной для обитания, и четко локализованы в пространстве, например популяции окуня и линя в изолированных друг от друга озерах.

Противоположный вариант — сплошное заселение видом обширных территорий. В пределах одного и того же вида могут быть популяции как с хорошо различимыми, так и со смазанными границами и в пределах вида популяции могут быть представлены группами разного объема.

Взаимоотношения видов не сводятся только к взаимодействию особей, хотя и осуществляются через индивидуальные контакты. Отношения между хищником и его жертвой кратковременны. Связь между их популяциями длительна и является одним из условий функционирования сообществ. Связи между отдельными особями приводят к одним результатам, связи между популяциями — к качественно другим. Например, длительное воздействие конкретного паразита может иметь следствием изменение физиологического состояния, плодовитости, долговечности хозяина и т.п. Взаимоотношения популяций этих же видов приводят к изменениям их основных групповых характеристик: численности, возрастного состава, смертности, темпов роста популяций.

Связи между популяциями поддерживают вид как единое целое. Слишком длительная и полная изоляция популяций может привести к образованию новых видов.

Различия между отдельными популяциями выражены в разной степени. Они могут затрагивать не только их групповые характеристики, но и качественные особенности физиологии, морфологии и поведения отдельных особей. Эти различия создаются в основном под влиянием естественного отбора, приспособляющего каждую популяцию к конкретным условиям ее существования.

Обязательным признаком популяции считается ее способность к самостоятельному существованию на данной территории в течение неопределенного долгого времени за счет размножения, а не притока особей извне. Временные поселения разных масштабов не относятся к разряду популяций, а считаются внутрипопуляционными подразделениями. С этих позиций **вид представлен не иерархическим соподчинением, а пространственной системой соседствующих популяций разных масштабов и с разной степенью связей и изоляции между ними.**

Популяции можно классифицировать по их пространственной и возрастной структуре, по плотности, по кинетике, по постоянству или смене сред обитания и другим экологическим критериям.

Территориальные границы популяций разных видов не совпадают. Многообразие природных популяций выражается также в многообразии типов их внутренней структуры.

Основные показатели структуры популяций — численность, распределение организмов в пространстве и соотношение разнокачественных особей.

Индивидуальные черты каждого организма зависят от особенностей его наследственной программы (генотипа) и оттого, как эта программа реализуется в ходе онтогенеза. Каждая особь имеет определенные размеры, пол, отличительные черты морфологии, особенности поведения, свои пределы выносливости и приспособляемости к изменениям среды. Распределение этих признаков в популяции также характеризует ее структуру.

Структура популяции не стабильна. Рост и развитие организмов, рождение новых, гибель от различных причин, изменение окружающих условий, увеличение или уменьшение численности врагов — все это приводит к изменению различных соотношений внутри популяции. Оттого, какова структура популяции в данный период времени, во многом зависит направление ее дальнейших изменений.

## **Половая структура популяций**

Генетический механизм определения пола обеспечивает расщепление потомства по полу в отношении 1:1, так называемое соотношение полов. Но из этого не следует, что такое же соотношение характерно для популяции в целом. Сцепленные с полом признаки часто определяют значительные различия в физиологии, экологии и поведении самок и самцов. В силу разной жизнеспособности мужского и женского организмов это первичное соотношение нередко отличается от вторичного и особенно от третичного — характерного для взрослых особей. Так, у человека вторичное соотношение полов составляет 100 девочек на 106 мальчиков, к 16-18 годам это соотношение из-за повышенной мужской смертности выравнивается и к 50 годам составляет 85 мужчин на 100 женщин, а к 80 годам — 50 мужчин на 100 женщин.

Соотношение полов в популяции устанавливается не только по генетическим законам, но и в определенной мере под влиянием среды обитания.

## **Возрастная структура популяций**

Рождаемость и смертность, динамика численности напрямую связаны с возрастной структурой популяции. Популяция состоит из разных по возрасту и полу особей. Для каждого вида, а иногда и для каждой популяции внутри вида характерны свои соотношения возрастных групп. По отношению к популяции обычно выделяют **три экологических возраста**: предпродуктивный, репродуктивный и пострепродуктивный.

С возрастом требования особи к среде и устойчивость к отдельным ее факторам закономерно и весьма существенно изменяются. На разных стадиях онтогенеза могут происходить смена сред обитания, изменение типа питания, характера передвижения, общей активности организмов.

Возрастные различия в популяции существенно усиливают ее экологическую неоднородность и, следовательно, сопротивляемость среде. Повышается вероятность того, что при сильных отклонениях условий от нормы в популяции сохранится хотя бы часть жизнеспособных особей, и она сможет продолжить свое существование.

Возрастная структура популяций имеет приспособительный характер. Она формируется на основе биологических свойств вида, но всегда отражает также силу воздействия факторов окружающей среды.

## **Возрастная структура популяций у растений**

У растений возрастная структура ценопопуляции, т.е. популяции конкретного фитоценоза, определяется соотношением возрастных групп. Абсолютный, или календарный, возраст растения и его возрастное состояние — понятия не тождественные. Растения одного возраста могут находиться в разных возрастных состояниях. Возрастное, или онтогенетическое состояние особи — это этап ее онтогенеза, на котором она характеризуется определенными отношениями со средой.

Возрастная структура ценопопуляции во многом определяется биологическими особенностями вида: периодичностью плодоношения, числом продуцируемых семян и вегетативных зародышей, способностью вегетативных зародышей к омоложению, скоростью перехода особей из одного возрастного состояния в другое, способностью образовывать клони и др. Проявление всех этих биологических особенностей, в свою очередь, зависит от условий внешней среды. Меняется и ход онтогенеза, который может протекать у одного вида во многих вариантах.

Разные размеры растений отражают различную **жизненность** особей в пределах каждой возрастной группы. Жизненность особи проявляется в мощности ее вегетативных и генеративных органов, что соответствует количеству накопленной энергии, и в устойчивости к неблагоприятным воздействиям, что определяется способностью к регенерации. Жизненность каждой особи меняется в онтогенезе по одновершинной кривой, возрастая на восходящей ветви онтогенеза и уменьшаясь на нисходящей.

Многие луговые, лесные, степные виды при выращивании их в питомниках или посевах, т.е. на лучшем агротехническом фоне, сокращают свой онтогенез.

Возможность менять путь онтогенеза обеспечивает адаптацию к меняющимся условиям среды и расширяет экологическую нишу вида.

## **Возрастная структура популяций у животных**

В зависимости от особенностей размножения члены популяции могут принадлежать к одной генерации или к разным. В первом случае все особи близки по возрасту и примерно одновременно проходят очередные этапы жизненного цикла. Сроки размножения и прохождения отдельных возрастных стадий обычно приурочены к определенному сезону года. Численность таких популяций, как правило, неустойчива: сильные отклонения условий от оптимума на любой стадии жизненного цикла действуют сразу на всю популяцию, вызывая значительную смертность.

У видов с однократным размножением и короткими жизненными циклами в течение года сменяется несколько поколений.

При эксплуатации человеком природных популяций животных учет их возрастной структуры имеет важнейшее значение. У видов с ежегодным большим пополнением можно изымать более значительную часть популяции без угрозы подорвать ее численность. Например, у горбушки, созревающей на второй год жизни, возможен вылов до 50-60% нерестящихся особей без угрозы дальнейшего снижения численности популяции. Для кеты, созревающей позднее и имеющей более сложную возрастную структуру, нормы изъятия из половозрелого стада должны быть меньше.

Анализ возрастной структуры помогает прогнозировать численность популяции на протяжении жизни ряда ближайших поколений.

Занимаемое популяцией пространство предоставляет ей средства к жизни. Каждая территория может прокормить лишь определенное число особей. Естественно, что полнота использования имеющихся ресурсов зависит не только от общей численности популяции, но и от размещения особей в пространстве. Это наглядно проявляется у растений, площадь питания которых не может быть меньше некоторой предельной величины.

В природе изредка встречается почти равномерное упорядоченное распределение особей на занимаемой территории. Однако чаще всего члены популяции распределяются в пространстве неравномерно.

В каждом конкретном случае тип распределения в занимаемом пространстве оказывается приспособительным, т.е. позволяет оптимально использовать имеющиеся ресурсы. Растения в ценопопуляции чаще всего распределены крайне неравномерно. Часто более плотный центр скопления окружен особями, расположенными менее плотно.

Пространственная неоднородность ценопопуляции связана с характером развития скоплений во времени.

У животных благодаря их подвижности способы упорядочивания территориальных отношений более разнообразны по сравнению с растениями.

У высших животных внутрипопуляционное распределение регулируется системой инстинктов. Им свойственно особое территориальное поведение — реакция на местонахождение других членов популяции. Однако оседлый образ жизни таит в себе угрозу быстрого истощения ресурсов, если плотность популяции окажется слишком высокой. Общая площадь, занимаемая популяцией, оказывается поделена на отдельные индивидуальные или групповые участки, чем достигается упорядоченное использование запасов пищи, естественных укрытий, мест для размножения и т.п.

Несмотря на территориальное обособление членов популяции, между ними поддерживается связь с помощью системы различных сигналов и непосредственных контактов на границах владений.

«Закрепление участка» достигается разными способами: 1) охраной границ занимаемого пространства и прямой агрессией по отношению к чужаку; 2) особым ритуальным поведением, демонстрирующим угрозу; 3) системой специальных сигналов и меток, свидетельствующих о занятости территории.

Обычная реакция на территориальные метки — избегание — закреплена у животных наследственно. Биологическая выгода такого типа поведения очевидна. Если бы овладение территорией решалось только исходом физической борьбы, появление каждого более сильного пришельца грозило бы хозяину потерей участка и устранением от размножения.

Частичное перекрывание индивидуальных территорий служит способом поддержания контактов между членами популяции. Соседние особи часто поддерживают устойчивую обоюдовыгодную систему связей: взаимное предупреждение об опасности, совместную защиту от врагов. Нормальное поведение животных включает активный поиск контактов с представителями своего вида, который часто усиливается в период падения численности.

Некоторые виды образуют широко кочующие группы, не привязанные к определенной территории. Таково поведение многих видов рыб во время нагульных миграций.

Между разными способами использования территории нет абсолютных разграничений. Пространственная структура популяции очень динамична. Она подвержена сезонным и другим адаптивным перестройкам в соответствии с местом и временем.

Закономерности поведения животных составляют предмет особой науки - **этологии**. Систему взаимоотношений между членами одной популяции называют поэтому этологической, или поведенческой структурой популяции.

Поведение животных по отношению к другим членам популяции зависит, прежде всего, оттого, одиночный или групповой образ жизни свойствен виду.

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.

При семейном образе жизни усиливаются также связи между родителями и их потомством. Простейший вид такой связи — забота одного из родителей об отложенных яйцах: охрана кладки, инкубация, дополнительное аэрирование и т.п. 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 - **стая, стада и колонии**. В основе их формирования лежит дальнейшее усложнение поведенческих связей в популяциях.

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.

**Положительный эффект группы** проявляется лишь до некоторого оптимального уровня плотности популяции. Если животных становится слишком много, это грозит для всех недостатком ресурсов среды. Тогда вступают в действие другие механизмы, приводящие к снижению численности особей в группе путем ее деления, рассредоточения или падения рождаемости.

#### **Лекция 14 (Л-14) Динамика популяций**

1. Математическая модель роста популяции.
2. Модификация и регуляция.
3. Типы динамики численности.

#### **Основные вопросы:**

1. Математическая модель роста популяции.

Математическая модель роста популяции, созданная в предположении независимости элементарных актов клеточного уровня (бинарного деления) от взаимного влияния особей, не способна описать поведение популяции в реальных условиях ее существования. Переход к попыткам описания закономерностей именно на популяционном уровне неизбежно приводит к тому, чтобы отказавшись от идеализированной схемы, учитывать те закономерности, которые характеризуют этот уровень биологических систем. Такой качественной особенностью популяции как локального представителя вида является внутривидовая борьба, которая может принимать формы взаимного ингибирующего влияния, своеобразного каннибализма, конкуренции за субстрат; к тому же само по себе исчерпание субстрата при культивировании микроорганизмов периодическим способом

также должно учитываться при анализе процессов роста и размножения микроорганизмов. [1]

Хотя приведенные выше математические модели роста популяции и учитывали качественную особенность популяционно-го уровня - внутривидовую борьбу, которая связывалась с тем или иным проявлением взаимодействия особей, тем не менее их все можно отнести только к моделям портретного типа. Безусловно, появление таких подходов следует рассматривать как определенный прогресс по сравнению с поисками эмпирических зависимостей или моделей типа уравнения экспоненциального роста популяции. Однако рассмотренные зависимости описывают только лишь накопление биомассы в предположении внут-рипопуляционного взаимодействия особей ( влияющих либо непосредственно на процессы размножения или гибели, либо опосредованно через продукты метаболизма), но не вскрывают сущности процесса перехода субстрата в организационную биомассу популяции. Модели рассмотренного типа построены при неявном предположении протекания процесса роста популяции в условиях практически неограниченного количества субстрата. Вместе с тем очевидная роль питательной среды в процессах роста и размножения микроорганизмов безусловно должна быть отражена в соответствующих моделях развития популяций. [2]

Следует отметить, что математическая модель роста популяции, полученная для упрощенной схемы процесса ( XII), включает зависимость  $X_f (M_0, K, / C_s, 0)$  в явном виде; при этом смешанный параметр  $f t_i M = 0$ , возникший в результате исключения из рассмотрения промежуточного этапа роста, имеет смысл обобщенной константы. [3]

Поэтому неслучайно при создании математических моделей роста популяции авторы очень часто обращались к кинетике ферментативных процессов, подбирая уже готовые выражения для зависимости скорости ферментативной реакции от содержания компонентов в исследуемой системе. При этом установленные строгим путем закономерности в бесструктурных системах переносились на протекание реакции в узком месте цепи внутриклеточного микробиологического синтеза без раскрытия особенностей механизма реакций, протекающих в узком месте. [4]

Нельзя сказать, что рассмотренные выше математические модели роста популяций совсем не относились к моделям кинетического типа. В том или ином виде все они включают выражение для скорости роста в виде дифференциального уравнения, интегральная форма которого описывает или должна описывать изменение во времени концентрации рассматриваемого компонента системы. [5]

При оценке результатов экспериментальной проверки математической модели обратимого автокаталитического роста популяции, основные положения которой изложены в предыдущих разделах, целесообразно рассмотреть следующие зависимости: относительной скорости роста популяции от ее численности; относительной скорости образования микроорганизмов ( синтеза биомассы) от численности популяции; равновесной концентрации микроорганизмов от запаса субстрата в питательной среде; максимальной относительной скорости роста от запаса субстрата в питательной среде. [6]

Таким образом, для расширения области применения математической модели автокаталитического обратимого равновесного роста популяции ( в частности, для описания начального периода роста) необходимо рассмотреть более подробную схему, учитывающую этапы преобразования субстрата питательной среды в промежуточный внутриклеточный субстрат, или, другими словами, перейти к рассмотрению кинетики сложных реакций. При этом может получить рациональное истолкование и кажущееся неподчинение процесса роста популяции закону действующих масс, что выражается в независимости общей скорости процесса от концентрации исходных компонентов и в общем-то является одним из отличительных признаков сложного процесса, проходящего через ряд промежуточных состояний. [7]

Уравнения ( XXXI) и ( XXXII) математической модели роста популяции, выведенные на основании совместного рассмотрения уравнения ассимиляции и уравнения сорбции ( десорбции) газообразных компонентов, дают возможность оценить требуемую величину объемного коэффициента массопередачи в зависимости от планируемой предельной

численности популяции А, физиологической характеристики микроорганизма а, константы его скорости роста и заданного уровня содержания компонентов питательной среды или продуктов метаболизма. [8]

Однако, рассматривая вопросы, относящиеся к выбору математических моделей роста популяции, необходимо иметь в виду следующее положение. Изменения, происходящие и регистрируемые в биологических системах, являются результатами процессов, в которых участвуют компоненты различных уровней иерархической структурно-системной организации. Поэтому важным методологическим вопросом математического моделирования является выбор уровня организации биосистемы, моделирование взаимодействия компонентов которого наиболее полно и адекватно соответствует поставленной при математическом моделировании практической задаче. [9]

Расчет такого режима легко проводится по уравнению ( XVII) математической модели роста популяции, а осуществление этого режима можно проводить на всех этапах технологической разработки условий культивирования. [10]

Таким образом, проведенный анализ общего уравнения асимиляции, созданного на основе математической модели роста популяции, дает возможность оценить общие закономерности изменения состава культуральной жидкости и проанализировать частные случаи потребления и выделения различных веществ особями растущей популяции микроорганизмов. [11]

Вместе с тем было установлено, что некоторые наблюдаемые закономерности роста не следуют из структуры математической модели автокатализитического обратимого роста популяции. Так, при заданном уровне схематизации модели уравнение роста не описывает лаг-фазу и справедливо лишь с момента времени культивирования, когда начинается регулярный рост биомассы. Кроме того, согласно рассматриваемой математической модели, должна наблюдаться прямая связь между запасом субстрата в питательной среде и максимальной удельной скоростью роста популяции, однако на практике этого не наблюдается: независимо от содержания субстрата в питательной среде М0 параметр Р1 М0 сохраняет постоянное значение для данного вида микроорганизма и данного качественного состава питательной среды. [12]

## 2. Модификация и регуляция.

Современная теория рассматривает динамику численности популяций как авторегулируемый процесс. Любой популяции организмов в конкретных условиях свойствен определенный средний уровень численности, вокруг которого происходят колебания. Отклонения от этого среднего уровня имеют разный размах, но в норме после каждого отклонения численность популяции начинает изменяться с обратным знаком. Теория динамики численности разрабатывается в основном на примере животных, хотя целый ряд ее положений применим и к растениям, грибам, простейшим и прокариотам.

Выделяют две принципиально разные стороны популяционной динамики: модификацию и регуляцию. **Модификация** – это случайное отклонение численности, возникающее в результате воздействия самых разнообразных факторов, не связанных с плотностью популяции. **Регуляция** – это возврат популяции после отклонения к исходному состоянию, совершающийся под влиянием факторов, сила действия которых определяется плотностью популяции.

### Модифицирующие факторы,

вызывая изменение численности популяций, сами не испытывают влияния этих изменений. Действие их, таким образом, одностороннее. К ним относятся все абиотические влияния среды на организмы, на качество и количество их корма и т. п. Благоприятная погодная обстановка может послужить причиной массовой вспышки размножения вида и перенаселения занимаемой им территории, как, например, в случае стадных саранчовых. Отрицательное воздействие модифицирующих факторов, наоборот, снижает численность популяции иногда до полного ее исчезновения.

Климатические и погодные изменения оказывают и прямое, и опосредованное влияние на живые организмы. На популяциях это влияние проявляется через усиление или ослабление смертности. Так, в нераспаханных степях большим бедствием для копытных был

«джут» – сочетание многоснежья с гололедицей. В такие зимы наблюдался массовый падеж скота, сайгаков, дроф, стрепетов, не способных добывать корм из-под снега. В малоснежные холодные зимы в лесной зоне из-за промерзания грунта в массе гибнут кроты, полевки, мыши. Заморозки в начале лета могут повлиять на выживаемость птиц. У тетеревов и глухарей, например, замерзают в гнездах яйца, когда самки отлучаются для кормежки. Насекомоядные птицы в это время гибнут от голода. Засухи и наводнения губят многих насекомых, их личинок и кладки. В выжженной солнцем степи после миграции по ней сайгаков остается множество трупов этих животных, преимущественно молодняка.

Влияние модифицирующих факторов, не зависящих от плотности популяции, может вызывать резкий спад ее численности. В сельском хозяйстве чрезвычайно важно прогнозирование погодных условий для возможностей защиты урожая.

Численность многих видов проявляет прямую корреляцию с ходом температурных условий, что особенно наглядно для пойкилтермных. Из-за выраженного сильного и разнородного действия на популяции погодных условий ряд экологов поддерживал в прошлом так называемую «климатическую» теорию динамики численности. По этой теории именно вариации погодных факторов определяют пределы колебания численности видов. Однако дальнейшие исследования показали, что никакие комбинации случайных, односторонне действующих факторов не могут удерживать популяции в тех определенных границах, которые характерны для них в конкретных биоценозах. Факторы, действие которых проявляется на уровне организмов и не зависит от плотности популяций, не могут быть регуляторами их численности.

### **Регулирующие факторы**

не просто изменяют численность популяции, а сглаживают ее колебания, приводя после очередного отклонения от оптимума к прежнему уровню. Это происходит потому, что эффект их воздействия тем сильнее, чем выше плотность популяции. В качестве регулирующих сил выступают межвидовые и внутривидовые отношения организмов.

### **Межвидовые связи**

осуществляются в биоценозах, поэтому относятся к группе биоценотических механизмов регуляции численности популяции. Наиболее эффективные из них – трофические отношения организмов: хищничество, паразитизм, собирательство, пастьба и другие, как прямые, так и косвенные. Прямые связи хищник – жертва – наиболее изученные регуляторные механизмы в сообществах.

Общее число жертв, которых может уничтожить один хищник, сначала растет почти пропорционально росту численности потребляемого вида. Это так называемая функциональная реакция хищников на жертвы. Однако она имеет предел, обусловленный физическими возможностями потребителя (рис. 135). После полного насыщения хищники обычно слабо реагируют на жертву. Новые возможности влиять на популяции жертв возникают при росте численности хищников за счет успешного размножения на хорошей кормовой базе. Это явление получило название численной или количественной реакции хищников на рост численности жертв. Количественная реакция хищников всегда запаздывает по сравнению с ходом размножения жертвы, так как является ответом на изменение кормовой базы.

Функциональная реакция одиночной самки хальциды *Dahlbomius-nus*, заражающей коконы пилильщика *Neodiprion sertifer* (по Дж. Варли и др., 1978): слева – число коконов, пораженных одной самкой паразита, при разной их плотности; справа – зависимость процента пораженных коконов от их плотности при постоянной численности паразита

В лабораторных условиях при совместном содержании хищника и его жертвы отмечаются периодические изменения численности обоих видов, имеющие довольно закономерный характер. В опытах, проведенных нашим отечественным биологом Г. Ф. Гаузе в 30-х годах с пробирочными культурами простейших, было обнаружено следующее. Усиленное размножение хищной инфузории *Didinium nasutum* закономерно следовало всякий раз за размножением ее жертвы – туфельки *Paramcium caudatum*. Когда хищник достигал высокой численности, он полностью уничтожал парамеций, после чего наступала гибель самих *Didinium*, лишенных пищевой базы. Однако, когда в пробирки помещали

некоторое количество песчинок, под которыми часть туфелек могла найти недоступные для хищников убежища, после гибели *Didinium* наступало новое массовое размножение парамеций (рис. 136). В другой серии опытов, когда культивировали разные виды парамеций, а в качестве их пищи – дрожжевые клетки рода *Sacharomyces*, было получено при дополнительных условиях несколько закономерных циклов колебаний численности дрожжей и туфелек. Механизмы подобных колебаний можно представить следующим образом.

Изменение численности инфузорий *Paramaecium caudatum* (жертва) и *Didinium nasutum* (хищник) при культивировании в общем сосуде (по Г. Ф. Гаузе, 1934): А – нет убежищ для парамеций; Б – парамеции имеют убежища от хищников; В – с повторным добавлением обоих видов, или иммиграцией

Увеличение численности жертв происходит до тех пор, пока темп выедания их нарастающим количеством хищников превысит скорости размножения. После этого дальнейшая деятельность хищников только подрывает кормовую базу, что ведет к снижению их собственной численности. Это позволяет немногим оставшимся в живых жертвам вновь размножаться и, следовательно, улучшить кормовые условия для хищников. Если последние еще присутствуют в системе, новое увеличение количества жертв способствует новому подъему численности хищников и цикл повторяется снова.

В природных условиях такие закономерные циклические изменения численности двух видов, связанных пищевыми отношениями, выявить трудно, так как на их размножение и гибель влияют взаимодействия со множеством других видов, а также абиотические изменения среды. Однако в ряде случаев и в природной обстановке удается заметить регулярные периодические изменения обилия хищников и их жертв.

Особенно наглядно такие колебания обнаруживаются в обедненных сообществах, где межвидовые связи не столь разнообразны: в тундрах и полярных пустынях, лесах с господством одной породы деревьев, культурных садах и т. п. Циклические изменения численности выявлены, например, у леммингов и их основных потребителей – песцов, массово размножающихся хвое – и листогрызущих насекомых и их паразитов, вредителей яблонь – паутинных клещиков и питающихся ими хищных клещей и у многих других сопряженных пищевыми связями видов. Более детальные исследования показывают, что циклические колебания численности жертв чаще связаны с проявлением внутрипопуляционных механизмов гомеостаза, но и взаимоотношения с хищниками вносят свой вклад в размах этих колебаний.

Таким образом, истребление жертв и поражаемость хозяев зависят от численности врагов, но и обилие последних также определяется численностью объектов их питания.

Паразиты – также мощный фактор сдерживания численности хозяев. Они, как правило, редко вызывают массовую гибель пораженных особей. Но поскольку зараженность паразитами ослабляет организм хозяина, она приводит, как правило, к падению плодовитости или даже полной стерилизации, что имеет следствием снижение численности следующих поколений.

Некоторые паразиты, однако, обязательно приводят хозяина к гибели, что сокращает численность заражаемого ими поколения. Эту группу паразитов называют часто паразитоидами. К ним относятся, например, насекомые, откладывающие яйца в яйца и личинок других насекомых.

Возбудители инфекционных заболеваний также сильно зависят от плотности популяций поражаемых ими видов, так как при достижении последними определенного порога численности становится возможной легкая передача инвазионного начала. Поэтому инфекционные болезни (тоже основанные на трофических связях) распространяются, как правило, внезапно и взрывообразно.

Конкуренты также являются регуляторами плотности популяций в биоценозах, так как взаимно обусловливают численность друг друга, вынуждая ограничивать масштабы использования ресурсов.

Биоценотические механизмы являются внешними по отношению к популяции регуляторами, сдерживающими рост ее численности.

## **Внутренние механизмы**

— это все те качественные изменения популяции в ответ на повышение плотности, которые рассматривались как механизмы ее гомеостаза. Многообразие этих механизмов (самоизреживание, каннибализм, территориальное поведение, расселительные инстинкты, фазовость насекомых, стресс-реакция млекопитающих, изменения плодовитости, агрессивности и т. п.) свидетельствует о том, что любой способ снятия угрозы перенаселения поддерживается естественным отбором как важная адаптация в жизни вида.

### **3. Типы динамики численности.**

Можно выделить три основных типа популяционной динамики численности (рис. 139).

**I. Стабильный тип** — отличается небольшим размахом колебаний (в несколько раз, однако не на несколько порядков величин). Свойствен видам с хорошо выраженным механизмами популяционного гомеостаза, высокой выживаемостью, низкой плодовитостью, большой продолжительностью жизни, сложной возрастной структурой, развитой заботой о потомстве. Целый комплекс эффективно работающих регуляторных механизмов держит такие популяции в определенных пределах плотности. Такова, например, динамика численности крупных млекопитающих и птиц, а также ряда беспозвоночных.

**II. Флюктуирующий тип** — колебания происходят в значительном интервале плотностей, различающихся на один-два порядка величин. При этом различают три фазы колебательного цикла: нарастания, максимума, разрежения численности. Возврат к стабильному состоянию происходит быстро. Регуляторные механизмы не теряют контроля за численностью популяций, увеличивая свою эффективность вслед за увеличением плотности. Преобладают слабоинерционные меж- и внутривидовые взаимодействия. Такой ход численности широко распространен в разных группах животных.

**III. Взрывной тип** с вспышками массового размножения — прекращение действия модифицирующих факторов не вызывает быстрого возврата популяции в стабильное состояние. Динамика численности складывается из циклов, в которых различают пять обязательных фаз: нарастания численности, максимума, разреживания, депрессии, восстановления. Для популяций периодически характерны предельно высокий и необычайно низкий уровень численности. По фазам цикла также сильно меняются показатели размножения, возрастной и половой структуры популяции, физиологического состояния, поведения, а иногда и морфологических особенностей составляющих ее особей. Такой ход численности обнаруживается чаще всего у видов с малой продолжительностью жизни, высокой плодовитостью, быстрым оборотом генераций. Он свойствен, например, некоторым насекомым (саранчевые, вредители леса — усачи, короеды, ряд чешуекрылых и пилильщиков и др.), среди млекопитающих отмечен у многих видов мышевидных грызунов.

Тип динамики численности — скорее популяционная, но не видовая характеристика. Популяции одних и тех же видов в различных условиях могут характеризоваться разным ходом динамики численности. Это объясняется преимущественно тем, что среди регуляторных механизмов большую роль играют межвидовые взаимосвязи, которые в пределах ареала вида могут быть разной степени напряженности. Так, многие виды, которые в природных условиях сдерживались врагами, проявляют склонность к вспышкам массового размножения в садах и на полях, где ослаблен биологический контроль.

## **Лекция 15 (Л-15) Экологическая политика**

1. Понятие об охране природы.
2. Принципы охраны.
3. Основные экологические нормативы.

### **Основные вопросы:**

1. Понятие об охране природы.

Охрана окружающей среды и рациональное использование природных ресурсов — одна из самых важных проблем, стоящих перед человечеством. Она теснейшим образом связана со всей хозяйственной деятельностью человека, оказывающей глубокое, нередко губительное воздействие на биосферу, ее геохимические, экологические и другие функции поступательного развития, сохранение равновесного природного состояния и т. д.

Конечной целью охраны окружающей среды является обеспечение благоприятных условий для существования человека, развития хозяйства, науки и культуры всех народов, населяющих нашу планету. Таким образом, цель охраны природы состоит в замене антагонистических отношений между природой и обществом на отношения дополнительности, при которых общественная система стабилизирует природную. Конкретные задачи и приоритеты вытекают из этой общей цели.

**Задачи охраны окружающей среды.** Первая и важнейшая задача охраны окружающей среды — вскрыть причинно-следственные связи во взаимодействии человеческого общества и природы. Еще более сложная задача — найти меры к устраниению причин или неблагоприятных последствий человеческой деятельности. Проблемы охраны окружающей среды и использования природных ресурсов состоят из комплекса государственных, международных и общественных мероприятий, реализация которых находится в прямой зависимости от социально-экономического строя различных государств и их технических возможностей. Основной стратегической линией научной и хозяйственной деятельности людей должна стать формула: понять, чтобы предвидеть, предвидеть, чтобы рационально использовать.

Рациональный подход природопользования должен опираться на фундаментальные принципы: во-первых, возможно полное использование природного ресурса; во-вторых, доведение неиспользованных отходов производства до такого состояния, при котором они могут быть ассимилированы экологическими системами.

Рационального использования природы недостаточно, нужна специальная охрана флоры и фауны, всех живых существ. В экологии различают два уровня охраны живой природы: популяционно-видовой и экосистемный.

На популяционно-видовом уровне объектами охраны являются конкретные виды животных или растений, живущие в популяциях, поэтому охрана популяций вырастает в охрану видов.

## 2. Принципы охраны.

Экологические принципы рационального использования природных ресурсов и охрана природы

В истории формирования природоохранной концепции можно выделить несколько последовательных этапов: видовая и заповедная охрана природы — поресурсная охрана — охрана природы — рациональное использование природных ресурсов — охрана среды обитания человека — охрана окружающей природной среды. Соответственно расширялось и углублялось само понятие природоохранной деятельности.

Охрана природы — совокупность государственных и общественных мероприятий, направленных на сохранение атмосферы, растительности и животного мира, почв, вод и земных недр.

Интенсивная эксплуатация природных богатств привела к необходимости нового вида природоохранной деятельности — рационального использования природных ресурсов, при котором требования охраны включаются в сам процесс хозяйственной деятельности по использованию природных ресурсов.

На рубеже 50-х гг. XX в. возникает еще одна форма охраны — охрана среды обитания человека. Это понятие, близкое по смыслу охране природы, в центр внимания ставит человека, сохранение и формирование таких природных условий, которые наиболее благоприятны для его жизни, здоровья и благосостояния.

Охрана окружающей природной среды — новая форма во взаимодействии человека и природы, рожденная в современных условиях, она представляет собой систему государственных и общественных мер (технологических, экономических, административно-правовых, просветительных, международных), направленных на гармоничное взаимодействие общества и природы, сохранение и воспроизведение действующих экологических сообществ и природных ресурсов во имя живущих и будущих поколений.

В последние годы все чаще используется термин «защита окружающей природной среды». Очень близок по содержанию и объему к этому понятию принятый рядом авторов термин охрана биосфера. Охрана биосфера — это система мероприятий, проводимых на

национальном и международном уровнях и направленных на устранение нежелательного антропогенного или стихийного влияния на функционально взаимосвязанные блоки биосфера (атмосферу, гидросферу, почвенный покров, литосферу, сферу органической жизни), на поддержание выработавшейся эволюционно ее организованности и обеспечения нормального функционирования.

Охрана окружающей природной среды тесно связана с природопользованием — одним из разделов прикладной экологии.

Природопользование — общественно-производственная деятельность, направленная на удовлетворение материальных и культурных потребностей общества путем использования различных видов природных ресурсов и природных условий.

По Н.Ф.Реймерсу (1992), природопользование включает в себя:

- а) охрану, возобновление и воспроизведение природных ресурсов, их извлечение и переработку;
- б) использование и охрану природных условий среды жизни человека;
- в) сохранение, восстановление и рациональное изменение экологического равновесия природных систем;
- г) регуляцию воспроизводства человека и численности людей.

Природопользование может быть нерациональным и рациональным. Нерациональное природопользование не обеспечивает сохранение природно-ресурсного потенциала, ведет к оскудению и ухудшению качества природной среды, сопровождается загрязнением и истощением природных систем, нарушением экологического равновесия и разрушением экосистем. Рациональное природопользование означает комплексное научно-обоснованное использование природных богатств, при котором достигается максимально возможное сохранение природно-ресурсного потенциала, при минимальном нарушении способности экосистем к саморегуляции и самовосстановлению.

По Ю.Одуму (1975), рациональное природопользование преследует двоякую цель:

- обеспечить такое состояние окружающей среды, при котором она смогла бы удовлетворить наряду с материальными потребностями запросы эстетики и отдыха;
- обеспечить возможность непрерывного получения урожая полезных растений, производства животных и различных материалов путем установления сбалансированного цикла использования и возобновления.

На нынешнем, современном этапе развития проблемы охраны окружающей природной среды рождается новое понятие — экологическая безопасность, под которым понимается состояние защищенности природной среды и жизненно важных экологических интересов человека, прежде всего его прав на благоприятную окружающую природную среду.

Научной основой всех мероприятий по обеспечению экологической безопасности населения и рациональному природопользованию служит теоретическая экология, важнейшие принципы которой ориентированы на поддержание гомеостаза экосистем и на сохранение экзистенционного потенциала.

Экосистемы имеют следующие предельные границы такой экзистенции (существования, функционирования), которые необходимо учитывать при антропогенном воздействии.

- предел антропотолерантности — устойчивости к негативному антропогенному воздействию, например, влиянию пестицидов, вредному для млекопитающих и орнитофауны и т.п.;
- предел стохетолерантносипш
- устойчивости против стихийных бедствий, например, действия на лесные экосистемы ураганных ветров, снежных лавин, оползней и др.;
- предел гомеостаза
- способности к саморегуляции;
- предел потенциальной регенеративности, т.е. способности к самовосстановлению.

Экологически обоснованное рациональное природопользование должно заключаться в максимально возможном повышении этих пределов и достижении высокой продуктивности всех звеньев трофических цепей природных экосистем. Другими словами, экологически сбалансированное природопользование возможно лишь при использовании «экосистемного подхода, учитывающего все виды взаимосвязей и взаимовлияний между средами, экоценозами и человеком».

Нерациональное природопользование в конечном счете ведет к экологическому кризису, а экологически сбалансированное природопользование создает предпосылки для выхода из него.

Выход из глобального экологического кризиса — важнейшая научная и практическая проблема современности. Над ее решением работают тысячи ученых, политиков, специалистов-практиков во всех странах мира. Задача заключается в разработке комплекса надежных антикризисных мер, позволяющих активно противодействовать дальнейшей деградации природной среды и выйти на устойчивое развитие общества.

Попытки решения этой проблемы только одними какими-либо средствами, например технологическими (очистные сооружения, безотходные технологии и т. д.), принципиально неверны и не приведут к необходимым результатам. Преодоление экологического кризиса возможно лишь при условии гармоничного развития природы и человека, снятии антагонизма между ними. Это достижимо лишь на основе реализации «триединства естественной природы, общества и природы очеловеченной», на путях устойчивого развития общества (конференция ООН, Рио-де-Жанейро, 1992 г.), комплексного подхода к решению природоохранных проблем.

Наиболее общим принципом, или правилом охраны окружающей среды, необходимо считать следующий: глобальный исходный природно-ресурсный потенциал в ходе исторического развития непрерывно истощается, что требует от человечества научно-технического совершенствования, направленного на более широкое и полное использование этого потенциала.

Из этого закона следует другой основополагающий принцип охраны природы и среды жизни: «экологичное — экономично», т.е. чем рачительнее подход к природным ресурсам и среде обитания, тем меньше требуется энергетических и других затрат. Воспроизводство природно-ресурсного потенциала и усилия на его воплощение должны быть сопоставимы с экономическими результатами эксплуатации природы.

Еще одно важнейшее экологическое правило — все компоненты природной среды — атмосферный воздух, воды, почву и др. — охранять надо не по отдельности, а в целом, как единые природные экосистемы биосфера. Только при таком экологическом подходе возможно обеспечить сохранение ландшафтов, недр, генофонда животных и растений.

Согласно закону Российской Федерации об охране окружающей среды (1991) основными принципами охраны окружающей среды являются следующие:

- приоритет охраны жизни и здоровья человека;
- научно-обоснованное сочетание экологических и экономических интересов;
- рациональное и не истощительное использование природных ресурсов;
- плотность природопользования;
- соблюдение требований природоохранительного законодательства, неотвратимость ответственности за его нарушение;
- гласность в работе экологических организаций и тесная связь их с общественными объединениями и населением в решении природоохранных задач;
- международное сотрудничество в области охраны окружающей природной среды.

Важнейший природоохранный принцип — научно обоснованное сочетание экологических и экономических интересов — отвечает духу Международной конференции ООН в Рио-де-Жанейро (1992), где был взят курс на модель устойчивого развития общества, на разумное сочетание экологической и экономической составляющих, на сохранение окружающей природной среды наряду с экономическим ростом.

Экологический кризис не является неизбежным и закономерным порождением научно-технического прогресса, он обусловлен как у нас в стране, так и в других странах мира комплексом причин объективного и субъективного характера, среди которых не последнее место занимает потребительское, а нередко и хищническое отношение к природе, пренебрежение фундаментальными экологическими законами. Анализ как экологической, так и социально-экономической обстановки в России позволяет выделить пять основных направлений, по которым Россия должна выходить из экологического кризиса. При этом необходим комплексный подход в решении этой проблемы, т.е. одновременно должны использоваться все пять направлений.

1. В качестве первого направления должно быть названо совершенствование технологии – создание экологически чистой технологии, внедрение безотходных, малоотходных производств, обновление основных фондов и др. К сожалению, существующее на сегодня финансирование этих мероприятий крайне недостаточно.

2. Второе направление – развитие и совершенствование экономического механизма охраны окружающей среды.

3. Третье направление – применение мер административного пересечения и мер юридической ответственности за экологические правонарушения (административно-правовое направление).

4. Четвертое направление – гармонизация экологического мышления (экологопросветительское направление).

5. Пятое направление – гармонизация экологических международных отношений (международно-правовое направление).

Определенные шаги по выходу из экологического кризиса по всем указанным выше пяти направлениям в России предпринимаются; однако впереди всем нам предстоит пройти самые трудные и ответственные участки пути. Они – то и решат – выйдет ли Россия из экологического кризиса или погибнет, погрузившись в пучину экологического невежества и нежелания руководствоваться фундаментальными законами развития биосфера и вытекающими из них ограничениями.

### 3. Основные экологические нормативы.

При генерализации можно выделить три основные категории экологических нормативов, используемых или разрабатываемых в целях природопользования. Это экологические нормативы экосистем, нормативы качества компонентов окружающей среды и нормативы антропогенных воздействий на окружающую среду, включая связанные с ними технические и технологические нормативы.

Под экологическим нормативом экосистемы понимается граница количественного изменения параметров экосистемы, устанавливаемая из условия сохранения ее структуры и функций, а также всех экологических компонентов, необходимых для учета в хозяйственной деятельности. При этом понимается норма для экосистемы, оцениваемой человеком.

При определении параметров экосистем, подлежащих нормированию, исходят из основных признаков, которые характеризуют качество экосистемы. Это ее продуктивность, уровень разнообразия продукции необходимого качества, устойчивость. Конкретизация этих общих характеристик экосистем может приводить к выявлению других показателей, могущих быть индикаторами их качества. Например, «любой важный признак, характеризующий нетронутую систему, может рассматриваться как индикатор устойчивости».

Конкретные параметры экосистемы, подлежащие экологическому нормированию, и критерии их выделения в настоящее время обсуждаются. Естественно, при экологическом экосистемном нормировании должны учитываться конкретные условия: тип биоценоза, региональные подходы к экологическому нормированию, которые используются при создании систем экологического мониторинга. Большого значения в управлении природопользованием в настоящее время они не имеют.

Нормирование качества компонентов окружающей среды. Нормирование качества компонентов окружающей среды применяется на практике значительно шире. Теоретически

этот вид нормативов должен зависеть как от ценности объектов, подлежащих охране, так и от целей их использования.

Цели использования также налагают ограничения на нормативы качества объектов окружающей среды. Например, земли, передаваемые под промышленную застройку, не требуют такого же качества, как пахотные; водные объекты, предназначенные для сплава и судоходства, не должны иметь нормативов воды питьевого качества и т.д.

Экосистемный подход к нормированию качества компонентов окружающей среды требует учета природных взаимосвязей между ними, например, путей миграции химических элементов, порогов воздействия на биоту и т.п. Так, нормативы содержания биогенов и пестицидов в почвах должны учитывать требования к качеству водных объектов, расположенных в пределах сельхозугодий.

Экологические нормативы качества компонентов окружающей среды относятся к вторичным нормативам согласно приведенной на рис. 3 классификации. В развитых странах вторичные нормативы понимаются как ограничители вредных воздействий, наносящих ущерб материальным и иным общественным ценностям.

В настоящее время в связи с неразработанностью проблем экологизации хозяйственной деятельности, отставания от развитых стран в общем уровне прикладных экологических исследований, которые используются в экологическом нормировании, система нормативов качества компонентов окружающей среды недостаточно разработана.

## **2. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ**

Не предусмотрена РУП.

### **3. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ПРОВЕДЕНИЮ ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАНЯТИЙ**

#### **Практическое занятие 1 (ПЗ-1) Действие факторов среды на организм**

1. Факторы среды, их классификация
2. Действие факторов на организм

##### 2.1.1. Задание для работы

1. Понятие экологического фактора (ЭФ).
2. Классификация ЭФ (частично по Мончадскому).
3. Закон минимума Ю. Либиха, формулировка и условия его применения.
4. Понятие лимитирующего фактора.
5. Понятие толерантности по В. Шелфорду, кривые толерантности, принципы (законы) толерантности.
6. Какие факторы называются независимыми и зависимыми (примеры)?
7. Какие факторы называются первично-периодическими, вторично-периодическими И непериодическими (примеры)?
8. Какие зоны активности охватывает кривая ?
9. Что означают термины «эвритермный» и «стенотермный вид»?

##### 2.3.4. Результаты и выводы:

В результате проведения практического занятия студентами тема усвоена.

#### **Практическое занятие 2 (ПЗ-2) Влияние освещенности на морфометрические показатели растений**

1. Адаптивная освещенность.
2. Влияние освещенности на морфометрические показатели растений

##### 2.1.1. Задание для работы

1. Адаптации беспозвоночных животных к условиям среды.
2. Адаптации позвоночных животных к условиям среды.
3. Адаптации высших растений к условиям среды.
4. Адаптации низших растений к условиям среды.
5. Адаптации микроорганизмов и вирусов к условиям среды.
6. Адаптогенез на видовом уровне.

7. Адаптация групп организмов.
8. Адаптация на ценотическом уровне и коадаптация.
9. Основные положения эволюционной теории: роль адаптации.
10. Теория стресса. Стадии адаптационного процесса.

**2.1.2. Результаты и выводы:**

В результате проведения практического занятия студентами тема усвоена.

**Практическое занятие 3 (ПЗ-3) Влияние интенсивности света на процесс фотосинтеза**

1. Влияние интенсивности света на процесс фотосинтеза хвойных пород
2. Влияние интенсивности света на процесс фотосинтеза лиственных пород.

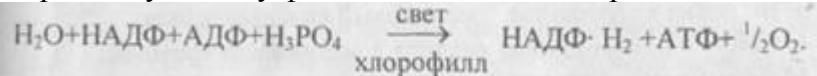
**2.1.1. Задание для работы**

Сущность световой фазы фотосинтеза заключается в окислении воды до молекулярного кислорода с помощью световой энергии, поглощенной хлорофиллом. Освобождающиеся при этом электроны передаются затем через цепь промежуточных переносчиков к НАДФ, который восстанавливается до НАДФ-Н<sub>2</sub>. Кроме того, при переносе электронов часть энергии расходуется на образование АТФ, т. е. фотосинтетическое фосфорилирование.

Считают, что в переносе электронов воды к НАДФ участвуют последовательно две пигментные системы, которые содержат различные формы хлорофилла а, отличающиеся максимумами поглощения в длинноволновой части спектра. В первую систему входят также каротиноиды, а во вторую - хлорофилл б и ряд других вспомогательных пигментов.

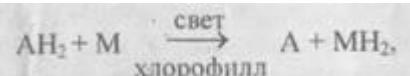
Итак, конечный результат фотоокисления воды - выделение молекулярного кислорода и образование богатых энергией и восстановительной силой соединений - АТФ и НАДФ-Н<sub>2</sub>, необходимых для последующего восстановления углекислого газа.

Упрощенную схему фотолиза воды можно представить следующим образом:



Как видно из уравнения, хлорофилл выполняет здесь функцию - фотосенсибилизатора, способствующего переносу электрона (водорода) к НАДФ.

Фотосенсибилизирующая роль хлорофилла может быть продемонстрирована в модельных реакциях с выделенным из растений пигментом. Для этого в качестве источника водорода берут аскорбиновую кислоту, а акцептора водорода - метиловый красный, который, присоединяя водород, восстанавливается в неокрашенное лейкосоединение. Аскорбиновая кислота окисляется в дегидроаскорбиновую кислоту по схеме:



где АН<sub>2</sub> - донор электронов (аскорбиновая кислота);

М - акцептор электронов (метиловый красный);

А - дегидроаскорбиновая кислота;

МН<sub>2</sub> - бесцветная лейкоформа метиловый красный.

**2.1. Цель работы:** установить роль хлорофилла как фотосенсибилизатора в процессах переноса электронов к НАДФ<sup>+</sup>.

**Объекты исследования, реагенты, оборудование:**

**Объекты исследования** - спиртовая вытяжка из листьев амариллиса, плюща или других растений.

**Реагенты:** 85 %-ый этиловый спирт, СаСО<sub>3</sub>, аскорбиновая кислота (криSTALLическая), метиловый красный (насыщенный раствор в этиловом спирте), раствор хлорофилла (спиртовая вытяжка из листьев).

**Оборудование** - пробочные сверла 08-10 мм, ножницы, колбы на 100 мл (2 шт.), воронки 0 5 см (2 шт.), стеклянная палочка длиной 8-12 см, бумажные фильтры кварцевый песок или толченое стекло, вазелин, колба Бунзена, стеклянный фильтр № 2 или № 3, насос Камовского или водоструйный, градуированные пипетки на 10 мл и на 1 мл, средние

пробирки, штатив, электрическая настольная лампа на 300 Вт., стеклянный сосуд с плоскопараллельными стенками.

#### **Схема исследований:**

1. Вытяжка хлорофилла + аскорбиновая кислота + метиловый красный + свет (контрольный вариант).

2. Вытяжка хлорофилла + аскорбиновая кислота + метиловый красный + темнота.

3. Вытяжка хлорофилла + метиловый красный + свет.

4. Спирт + аскорбиновая кислота + метиловый красный.

#### 2.1.2. Краткое описание проводимой работы:

##### **A. Получение спиртового раствора (вытяжки) пигментов зеленого листа**

Из листьев растений (не затрагивая крупных жилок) пробочным сверлом вырезают диски. Из них составляют навеску в 1,0-1,5 г. Для расчета поверхности листьев взятой пробы необходимо сосчитать количество дисков и измерить их диаметр.

Навеску листьев переносят в фарфоровую ступку и растирают с небольшим количеством этилового спирта, прибавив предварительно на кончике ножа CaCO<sub>3</sub> (для нейтрализации кислот клеточного сока) и чистого кварцевого песка (для лучшего растирания). Носик ступки с наружной стороны смазывают вазелином. После небольшого отстаивания зеленый раствор осторожно (чтобы не потерять ни капли раствора) по палочке сливают в воронку с пористым стеклянным фильтром. С помощью масляного или водоструйного насоса фильтруют вытяжку в колбу Бунзена. Оставшуюся в ступке густую массу снова растирают со спиртом. После отстаивания жидкость переносят на фильтр.

Эту операцию повторяют несколько раз, пока раствор, стекающий из воронки, не будет бесцветен. Переносят спиртовую вытяжку из колбы Бунзена в мерную колбу на 25-50 мл, спиртом доливают до метки и перемешивают. Полученный зеленый раствор содержит следующие пигменты.

1. Зеленые:

хлорофилл «а» C<sub>32</sub>H<sub>30</sub>ON<sub>4</sub>Mg (COOCH<sub>3</sub>) (COOC<sub>20</sub>H<sub>39</sub>);

хлорофилл «б» C<sub>32</sub>H<sub>28</sub>O<sub>2</sub>N<sub>4</sub>Mg (COOCH<sub>3</sub>) (COOC<sub>20</sub>H<sub>39</sub>).

2. Желтые:

каротин C<sub>40</sub>H<sub>56</sub>; ксантофилл C<sub>40</sub>H<sub>56</sub>O<sub>2</sub>.

С полученной вытяжкой производят ряд исследований и определяют количество хлорофилла в ней.

##### **B. Изучение фотосенсибилизирующих действий хлорофилла на реакцию переноса водорода по Гуревичу.**

Берут четыре пробирки: в первые три наливают по 5 мл спиртовой вытяжки хлорофилла, в четвертую - 5 мл этилового спирта. В первую, вторую и четвертую пробирки вносят приблизительно по 50 мг кристаллической аскорбиновой кислоты и несколько раз хорошо встряхивают раствор. Во все пробирки с хлорофиллом прибавляют по каплям отфильтрованный спиртовой раствор метилового красного до тех пор, пока зеленая окраска не перейдет в красно-бурый цвет. В четвертой пробирке спирт доводят с помощью индикатора до ярко-розовой окраски. Вторую пробирку закрывают чехлом из черной бумаги, а затем все пробирки ставят в штатив и освещают электрической лампой (300 Вт), расположив ее на расстоянии примерно 15 см от штатива. Для поглощения тепловых лучей между пробирками и источником освещения желательно поместить заполненный водой сосуд с плоскопараллельными стенками.

После 10-15-минутного освещения в первой пробирке вследствие восстановления метиловый красный обесцвечивается, и раствор вновь приобретает зеленую окраску. В опытных пробирках окраска раствора не изменяется, так как в отсутствие света, аскорбиновой кислоты или хлорофилла метиловый красный не восстанавливается лейкосоединение.

Исследование можно продолжить и установить зависимость фотосенсибилизирующего действия хлорофилла от интенсивности света и его спектрального состава. Результаты исследований занести в таблицу.

##### **Влияние света на фотосенсибилизирующее действие хлорофилла**

№ п/п	Состав смеси в пробирках				Усло вия опыта	Результаты (окраска вытяжки)
	хлоро филл (мл).	эти ловый спирт (мл)	кристалли ческая аскорбиновая кислота (мг)	Насыщенный спиртовой раствор метилово го красного		
	5	-	50	Добавляется	Свет	
	5	-	50	до появления красно-буровой окраски	Тем- нота	
	5	-	-		Свет	

#### 2.3.4. Результаты и выводы:

В результате проведения практического занятия студентами тема усвоена.

### **Практическое занятие 4 (ПЗ-4) Приспособления организма к условиям среды**

1. Морфологические приспособления.
2. Анатомические приспособления.
3. Физиологические приспособления.

**2.1. Цель работы:** рассмотреть физиологические процессы организма и установить его адаптационные возможности.

**Материалы и оборудование:** Полиэтиленовый таз с холодной водой, тонометр, часы, ручка, линейка, тетрадь.

#### Задание для работы

Способность к адаптации – одно из основных свойств жизни на нашей планете. Любой организм способен жить в пределах определенного диапазона температур. У всех теплокровных наружные слои тела образуют более или менее выраженную «оболочку», температура которой изменяется в широких пределах. Устойчивая температура характеризует лишь область локализации важных внутренних органов и процессов. Поверхностные же ткани выдерживают более выраженные ее колебания. При снижении температуры среды усиливается процесс метаболизма теплокровных организмов и в качестве адаптивного ответа происходит сжатие поверхностных и расширение глубоколежащих сосудов, что приводит к консервации тепла.

#### 2.1.2. Краткое описание проводимой работы:

Физиологические особенности адаптации организма к низким температурам можно исследовать с помощью простой пробы - опускания руки в воду со льдом. Эта пробы позволяет исследовать адаптивную реакцию организма на интенсивное холодовое раздражение.

Для проведения этого исследования необходимо выбрать из группы 3-4 студентов, родившихся и выросших в различных климатических условиях. После чего у первого из испытуемых измерьте систолическое и диастолическое давление, а затем он погружает руку до кисти в холодную воду со льдом. Через 3 минуты еще раз измерьте у него давление, и он снова погружает руку в лед. Еще спустя 3 минуты испытуемый окончательно должен извлечь руку из холодной воды, и необходимо еще раз измерить его давление. Делайте измерение давления каждые 3 минуты до тех пор, пока определяемые величины не вернутся к исходным. Все зарегистрированные по ходу работы данные записывайте. Аналогичные исследования проведите для других испытуемых.

По всем полученным результатам постройте графики, откладывая по одной оси уровень систолического артериального давления в мм рт.ст., а по другой оси время в трехминутных интервалах. Сравните полученные графики, сделайте заключение по проведенной работе.

В теории у студентов систолическое давление при холодовом раздражении может повышаться на 20-40 мм рт.ст. При этом у лиц, привыкших к холодному климату, в целом

реакция менее выражена, а нормализация значений артериального давления происходит быстрее.

#### 2.1.3. Контрольные вопросы:

1. На какие две группы делятся все живые организмы по адаптации к температурному фактору?
2. Приведите примеры обратимой гипотермии. В чем ее биологическое значение?
3. В чем проявляются анатомо-морфологические особенности теплокровных животных при воздействии низкой температуры окружающей среды (правило Аллена, 1877)?
4. Приведите 1-2 примера на климатическое правило Бергмана (1847).
5. Почему медицинские инструменты стерилизуют не путем промораживания, а кипячением или нагреванием в автоклавах при высоком давлении?

#### 2.3.4. Результаты и выводы:

В результате проведения практического занятия студентами тема усвоена.

### **Практическое занятие 5 (ПЗ-5) Классификация видов животных и растений по экологическим группам и определить общие для них адаптации.**

1. Классификация видов животных по экологическим группам
2. Определить общие для них адаптации.

### **Оценка токсического действия производственных отходов на ферментативную активность кишечной палочки**

2.1. Цель работы: изучить влияние химических веществ на ферментативную активность кишечной палочки, оценить эффективность биоиндикационного метода оценки токсичности производственных отходов.

**Материалы и оборудование:** пробирки со стерильным мясо-пептонным бульоном, культура кишечной палочки, среды Гисса, 5 разных веществ (отходы производства), ручка, тетрадь.

#### 2.1.1. Задание для работы

В искусственных условиях бактерии выращивают (культивируют) на средах, удовлетворяющих потребности бактерий в питательных веществах, и имеющих оптимальное значение величины pH и осмотического давления. Кроме того, питательные среды должны быть стерильными, а по возможности и прозрачными.

Питательные среды принято делить на несколько групп.

По происхождению среды бывают естественными и искусственными. К естественным средам относят те, в состав которых входят продукты растительного или животного происхождения: молоко, кровь, отвары и экстракты из овощей и фруктов, мясная вода, дрожжевые экстракты, яичные среды, мясо-пептонный бульон и мясо-пептонный агар (пептоны это продукты распада белка, короткие аминокислотные цепочки, которые легко усваиваются бактериями). Искусственные среды готовят путем добавления к естественным неорганическим компонентам и минеральным солям.

Среды можно по составу разделить так же на простые и сложные. К простым относятся мясо-пептонные бульон и агар. Добавление к таким средам одного или нескольких ингредиентов – крови, сахара и других составляющих делают их сложными.

По физическому состоянию питательные среды могут быть жидкими, полужидкими, плотными. Для сгущения к жидкой питательной среде добавляют вещество получаемый из водорослей – агар, который плавится при температуре 80-100°C и застывает при 40°C. Агаризированные среды разливают в пробирки в расплавленном состоянии, а затем охлаждают. Для уплотнения сред иногда используют желатину, добавляя ее к жидким средам в 10-20% концентрации.

По целевому назначению питательные среды могут быть: основными, например, мясо-пептонный бульон и мясо-пептонный агар, на них просто растут многие виды неприхотливых микроорганизмов; избирательными - предназначенными для выделения и культивирования определенного вида бактерий, например, для выделения туберкулеза из мокроты больного используют среду Левинштейна-Йенсена, содержащую бриллиантовую зелень, которая подавляет рост большинства микроорганизмов, но при этом к ней

нечувствительны микобактерии туберкулеза; дифференциально-диагностические среды предназначенные для исследования ферментативных свойств бактерий.

В основе использования дифференциально-диагностических сред лежат различия в ферментативном составе бактерий (каждый вид бактерий выделяет во внешнюю среду свой набор ферментов) и способности ферментов расщеплять определенный субстрат. Например, фермент уреаза катализирует расщепление субстрата мочевины до аммиака и CO<sub>2</sub>; каталаза, катализирует расщепление пероксида водорода на воду и кислород; лактозидаза расщепляет сахар лактозу до молочной кислоты и CO<sub>2</sub>.

В данной работе используются дифференциально-диагностические среды Гисса. Среды Гисса используются для определения бактериальных ферментов, расщепляющих сахара. Каждая такая среда содержит пептон, agar, какой-нибудь один сахар (глюкоза, лактоза, сахароза, мальтоза и т.д.) и индикатор (т.е. вещество способное при закислении среды изменять цвет). В среды Гисса в качестве индикатора обычно добавляют водный розовый или бромтиоловый синий.

При посеве бактериальной культуры в какую-нибудь из сред Гисса, в том случае если данная бактерия выделяет фермент, расщепляющий добавленный в среду сахар, происходит изменение окраски среды в результате накопления в ней кислоты. При посеве бактерий на несколько различных сред Гисса можно установить, какие именно ферменты данный вид бактерий вырабатывает, а какие нет. И, в конечном счете, составить ферментативный «портрет» исследуемой бактериальной культуры.

#### 2.1.2. Краткое описание проводимой работы:

В качестве тестовой бактериальной культуры используем кишечную палочку (*E. coli*). Объектом изучения могут быть отходы угле- и горнодобывающего производства, металлургические шлаки, нефтяные шламы, образцы загрязненных почв, золошлаковые отходы котельных и т.д.

1. В пробирки со стерильным мясо-пептонным бульоном вносится по 0,5 г различных исследуемых веществ.
2. В каждую пробирку стерильной бактериальной петлей засевают чистую культуру кишечной палочки.
3. Ставят контрольную пробу, делая посев бактерий в пробирку с мясо-пептонным бульоном.
4. Все пробирки подписывают и оставляют на несколько дней при комнатной температуре.
5. Пробирки просматривают, отмечают рост бактерий в бульоне (помутнение, осадок, пленка на поверхности). Из каждой пробирки, включая контрольную, делают пересев бактерий на среды Гисса.
6. Все пробирки со средами Гисса подписывают и оставляют на несколько дней при комнатной температуре.
7. Пробирки просматривают, отмечают в какой из них изменился цвет среды и заполняют таблицу 3-1 (проставляя в соответствующей ячейке «+» если в пробирке произошло расщепление субстрата и «-» если цвет среды не изменился).

По результатам работы делают заключение, сравнивая контрольные и опытные данные.

Результат опыта субстрат
Контроль
Опыт №1 (.....)
Опыт №2 (.....)

#### 2.3.4. Результаты и выводы:

В результате проведения практического занятия студентами тема усвоена.

**Практическое занятие 6 (ПЗ-6) Классификация видов животных и растений по экологическим группам и определить общие для них адаптации. Коллоквиум №1**

1. Классификация видов и растений по экологическим группам

## 2. Определить общие для них адаптации.

Цель занятия: углубить и систематизировать знания об экологических факторах среды и их действии на организмы.

### 2.1.1. Задание для работы

- рассмотреть классификацию факторов среды;
- расширить знания учащихся о влиянии абиотического факторах на живые организмы;
- углубить и расширить знания об экологических группах организмов по отношениям к абиотическим факторам;
- продолжить формирование умений и навыков работы в группе.

Оборудование: презентация занятия, 2 горшка комнатных растений, экологическое лото (каточки, бочонки с номерами), гербарии растений, видеоролики “Растения Анд”, “Значение воды в жизни организмов”.

Любые свойства и компоненты внешней среды оказывающее влияние на организмы, называют экологическими факторами. На сегодняшнем занятии мы с вами подробнее разберем и рассмотрим абиотический фактор. Важнейшие абиотические факторы для любого организма – свет, тепло и влага. С детства знакомо: “Солнце, воздух и вода – наши лучшие друзья!”. Можно сюда добавить концентрация солей, давление, осадки, рельеф, движение воздушных масс, кислород – для животного мира, и углекислый газ – для растений. Каково же влияние каждого из них на живые организмы?

#### 1. Свет в жизни организмов.

Беседа с учащимися о секторах света и значении различных типов излучений.

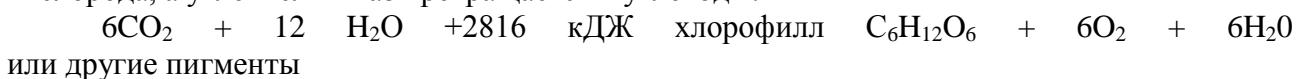
До 19% рассеивается в атмосфере (парами и пылью, молекулами газов), около 34% отражается от атмосферы (от облаков) в космическое пространство и только 47% солнечной энергии достигает биосферы.

Ионизирующее излучение почти полностью задерживается верхними слоями атмосферы. Доля ультрафиолетовых лучей составляет около 1%. Остальное количество поступающей на землю лучистой энергии распределяется практически поровну на видимую и инфракрасную части спектра. Экологическое значение невидимых лучей изучено еще слабо. Известно, что воздействие ионизирующего излучения связано с радиоактивностью; особенно выражено в последние десятилетия в связи с техногенными загрязнениями и катастрофами и проявляется на клеточном уровне (мутагенный эффект), влияет на обмен веществ.

Ультрафиолетовые лучи в умеренных дозах стимулируют рост и размножение клеток, способствуют синтезу биологически активных веществ, витаминов, антибиотиков и тем самым повышают устойчивость к болезням УФ с длиной волн 300-320 нм выработке витамина D, регулирующего обмен витаминами С и Р. Этим обеспечивается нормальное развитие скелета. Наиболее велико влияние этих витаминов на растущее поколение. Многие звери по утрам выносят из нор своих детенышей на солнце (барсуки, лисы, волки). У птиц – “солнечное купание”. Передозировка УФ вредна, особенно для деления клеток, поэтому используют УФ для дезинфекции помещений. Как защита от излишних доз УФ, при длине волны 320–330 нм в коже человека и других млекопитающих образуется пигмент меланин (загар). Экранирование поверхности организма свойственно многим рыбам, икре лягушек, грызунам в степях.

Инфракрасное излучение (ИК) воспринимается всеми организмами как тепло. Воздействуя на тепловые центры нервной системы животных, эти лучи регулируют окислительные процессы и двигательные реакции в отношении источников тепла.

В процессе сложнейших фотохимических реакций молекулы воды (или другие молекулы с элементами, заменяющими O<sub>2</sub>) расщепляются с выделением газообразного кислорода, а углекислый газ превращается в углеводы:



Опыт. “Влияние освещенности на развитие растений”.

В 2-х горшках растут комнатные растения “Хлорофитум хохолковый”.

Одно растение держали в обычных условиях кабинета, второй в шкафу в темном месте, где недостаток освещенности. Растения держали не менее 10 дней при таком режиме. Растения отличаются интенсивностью окраски.

Чем они отличаются? Что может быть причиной?

## 2. Температура в жизни организмов.

Черный цвет поглощает тепло, а гадюки нагревают тело на солнце, поэтому за полярным кругом гадюки темноокрашенные, рептилии холоднокровные и темноокрашенные быстро нагреваются и становятся более активными. Главным источником тепла на Земле является солнечное излучение, поэтому свет и тепло выступают сопряжено. Тепло один из наиболее важных факторов, определяющих существование развитие и распространение организмов по Земному шару. При этом важно не только количество тепла, но и распределение его в течение суток, вегетационного сезона, года. Приход тепла к разным участкам планеты, естественно, неодинаков, с удалением от экватора не только снижается поступление его, но и увеличивается амплитуда сезонных и суточных колебаний.

Температурные пределы, в которых может протекать жизнь, составляет всего 300°, от -200°C до +100°C, но для большинства организмов и физиологических процессов этот диапазон еще уже – от 39° в море (-3,3 – +35,6°C) до 125° на суще (-70 – +55°C). Нормальное строение и работа белка осуществляются при 0+50°C. Значение температуры заключается в том, что она изменяет скорость протекания физико-химических реакций в клетках, а это отражается на росте, развитии, размножении, поведении и во многом определяет географическое распространение растений и животных.

По отношению к температуре все организмы делятся на криофилы (холодолюбивые) и термофилы (теплолюбивые).

▪ Криофилы не выносят высоких температур и могут сохранять активность клеток при -8-10°C (бактерии, грибы, моллюски, членистоногие, черви и др.). Они населяют холодные и умеренные зоны земных полушарий. ПРИМЕР. В условиях Крайнего Севера, в Якутии деревья и кустарники не вымерзают при - 70°C. “Рекордсмен” – лиственница даурская. За полярным кругом при такой же температуре выживают лишайники, некоторые виды водорослей, ногохвостки, в Антарктиде – пингвины. Семена и споры многих растений, нематоды, коловратки переносят замораживание до температуры близкой к абсолютному нулю (271°C). Животные больших глубин переносят температуры около 0°C.

▪ Термофилы приспособились к условиям высоких температур, обитают преимущественно в тропических районах Земли. Среди них также преобладают беспозвоночные (моллюски, членистоногие, черви и др.), многие из которых живут только в тропиках. ПРИМЕР. Пресмыкающиеся, некоторые виды жуков, бабочек выдерживают температуру до 45–50°C. В пустыне Палестины максимальная активность у кузнецов наблюдается при 40-градусной жаре. В горячих источниках Калифорнии при температуре 52°C обитает рыба – пятнистый ципринодон, а на Камчатке при 75–80°C живут сине-зеленые водоросли. Верблюжья колючка, кактусы переносят нагревание воздуха до 70°C.

Как же происходит адаптация растений к различным неблагоприятным температурам?

Они приспособляются с помощью анатомо-морфологических и физиологических механизмов. К анатомо-морфологическим адаптациям растений к холodu относится:

- маленький рост при сохранении больших размеров репродуктивных органов.
- Приведите примеры.

Ива полярная, березка арктическая, многочисленные арктические растения.

Формирование укороченных побегов. У каких растений формируются укороченные побеги при адаптации к холodu?

У лиственницы, ивы.

А ива чукотская и дуб монгольский адаптируются при помощи неопадение отмерших листьев с крон. Береза шерстистая, лапчатка земляниколистная, прострелы, лиственница курильская опушают побеги и листья.

При высоких температурах растения утолшают покровную ткань, и образует восковой налет на листьях при этом уменьшает интенсивность испарение воды, образует толстый слой кутикулы, имеют толстый слой пробкового слоя для изоляции камбия от перегрева, листья

принимают вертикальную ориентацию и имеют войлочное опушение. В холодных районах растут, в основном многолетники, в жарких – много однолетников.

И наконец, физиологические (биохимические) адаптации к ним относится:

- снижение интенсивности транспирации, уменьшающее теплоотдачу;
- накопление в клетках сахаров и других веществ, увеличивающих концентрацию клеточного сока;
- накопление в клетках антоцианов, обеспечивающих в холодное время сезона красный цвет и оттенки фотосинтезирующего аппарата ( побеги шиповника и чозении, листья копытня, джефферсонии, адониса, ветрениц и тополя; цветки у ивы Крылова);
- выделение веществ, зачерняющих поверхность вокруг стволов (чозения);

Задание. Вставьте в текст пропущенные слова.

Отношение к низким температурам характеризуются: ..... – длительно переносят низкие положительные температуры – от +1 до +10°C. Они выходцы из тропиков – хлопчатник, рис, баклажаны. ..... – не гибнут при температуре от -1 до -7°C, хорошо переносят низкие температуры ниже 25°C. Все древесно-кустарниковые виды умеренных зон. ..... – переносят кратковременное образование льда между клетках, после оттаивания продолжают жить.

Отношение к высоким температурам характеризуется: ..... – растения солнечных сухих местообитаний, способные переносить кратковременное (до получаса) повышение температуры до +60°C без повреждения тканей. Самые выносливые – лишайники. ..... – низшие растения, живущие в термальных источниках (сине-зеленые водоросли, бактерии) стой до +90°C.

У животных реакции на разный тепловой режим жизнеобеспечения не менее разнообразны, чем у растений. И все они направлены на регулирование уровня теплопередачи. В отличие от растений для животных характерны два типа теплообмена: ..... (разнообразный) и ..... (одинаковый).

К ..... (эктотермным, устаревшее – холоднокровным) относятся все ..... . Они лишены способности поддерживать постоянную температуру тела. Для этих организмов типична низкая интенсивность обмена веществ и почти полное отсутствие механизмов теплорегуляции. В тропических странах они встречаются чаще, чем в других. ..... (эндотермные, теплокровные) – животные с высоким уровнем обменных процессов – ..... и ..... , обеспечивающими поддержание постоянной температуры тела даже при значительных колебаниях температуры внешней среды.

Промежуточное положение между ..... и ..... организмами занимают ..... (....., ежи, ..... , ..... ). В активном состоянии, у этих животных поддерживается постоянная относительно высокая температура тела. В зимнее время они впадают в спячку или глубокий сон, и температура тела у них в это время мало отличается от внешней. Уровень обмена веществ снижается (Когда спишь – есть не хочется!).

### 3. Влага в жизни организмов.

Вода – основа клеток, тканей, растительных и животных соков. Только при наличии воды в организме протекают процессы фотосинтеза, терморегуляции, обменных процессов. Наиболее высоко содержание воды в периоды активной жизнедеятельности и в молодом возрасте.

Но и в состоянии покоя растения не теряют влагу полностью. В сухих лишайниках содержится до 5–7% воды, в зерновках злаков – 12–14%. Независимо от климата и почвенных условий в течение года всегда можно выделить такие периоды в развитии растений, за исключение растений влажных тропиков, когда они испытывают дефицит влаги. При остальных благоприятных условиях он сильно сказывается на росте и развитии растений, обуславливает их низкорослость и бесплодие.

В процессе эволюции у растений и животных выработался многочисленные сложные приспособления, позволяющие поддерживать водный баланс и обеспечивать экономное расходование воды. Растения пустынь и степей приспособились к острому дефициту влаги,

болотные и влажно-тропические растения – к избытку, а лесным видам необходима высокая влажность воздуха и умеренная влажность почв. Как и в отношении остальных факторов, эти приспособления-адаптации группируются в анатомо-морфологические, физиологические и поведенческие. Источниками влаги для растений служат запасы ее в почве и атмосфере (осадки, туманы, конденсаты), для наземных животных – вода в водоемах, водяные пары в атмосфере и сочная пища. Влажный воздух обладает хорошей теплопроводностью. При высокой влажности в холодном воздухе у гомотермных животных усиливаются процессы метаболизма, а у пойкилтермных животных и растений они замедляются. В сухом воздухе при низкой температуре охлаждение происходит медленнее, а в сухом и жарком воздухе активизируются процессы терморегуляции, усиливается испарение с поверхности. Во влажном и жарком воздухе испарения с поверхности резко падает и высока вероятность нагрева организма до температуры воздуха (перегрев). Наиболее благоприятные условия складываются в диапазоне температур 17–23°C и в диапазоне относительной влажности воздуха 85–100%.

**Задание.** Расположите растения по своим экологическим группам: папоротник, кислица, осина, ива, кактус, алоэ, ковыль, незабудка, тюльпан, типчак, кукуруза, одуванчик, баобаб, мох, багульник болотный, лишайники, бруслица

#### 2.3.4. Результаты и выводы:

В результате проведения практического занятия студентами тема усвоена.

### **Практическое занятие 7 (ПЗ-7) Описание особенностей действия экологических факторов в разных природных зонах России.**

1. Действие абиотических факторов.
2. Действие биотических факторов.
3. Действие антропогенных факторов.

#### 2.1.1. Задание для работы

Составление графиков, таблиц и температурных карт района на основе использования записи в календаре природы и литературы Проведение фено наблюдений над деревьями и кустарниками и определение их в зимнем состоянии Составление графиков температуры над и под снеговым покровом, определение промерзаемости почвы, в различных биоценозах Выяснение роли суточных колебаний на распределение, активность и поведение животных в различных биоценозах

Взятие проб на различных участках биоценоза, определение их механического состава и структуры Изготовление почвенных разрезов на пробных площадках и установление типов почв. Выяснение влияния.

уплотнения почвы на состав обитателей почв. Составление карт и схем почвы и рельефа района Работа с приборами по определению экспозиции и рельефа. Выяснение роли микрорельефа на размещение травянистых растений Определение направления ветра и влажности в полевых условиях. Знакомство с растениями и животными-индикаторами и барометрами окружающей среды.

Описание видового состава различных лесных сообществ Выявление роли подлеска Составление таблицы ярусности различных участков леса и луга Выяснение влияния взрослых древесных пород па самосев (подсчитать всходы) Определение проективного покрытия наземных частей растений на пробных площадках при помощи, деревянного квадрата с сеткой (ячейки по 10 см).

#### 2.3.4. Результаты и выводы:

В результате проведения практического занятия студентами тема усвоена

### **Практическое занятие 8 (ПЗ-8) Описание особенностей действия экологических факторов на территории Оренбургской области.**

1. Действие абиотических факторов.
2. Действие биотических факторов.
3. Действие антропогенных факторов.

**2.1. Цель работы:** Ознакомиться с методикой подсчета времени исчерпания природного ресурса.

**Материалы и оборудование:** калькулятор, ручка, тетрадь.

**2.1.1. Задание для работы**

Ресурсы могут быть классифицированы как вечные, возобновимые и невозобновимые.

Вечные ресурсы, такие как солнечная энергия, действительно неисчерпаемы с точки зрения истории человечества.

Возобновимые ресурсы в нормальных условиях восстанавливаются в результате природных процессов. Примерами могут служить деревья в лесах, дикие животные, пресные воды поверхностных водотоков и озер, плодородные почвы и др.

Невозобновимые, или исчерпаемые ресурсы существуют в ограниченных количествах (запасах) в различных частях земной коры. Примерами являются нефть, уголь, медь, алюминий и др. Они могут быть истощены как потому, что не восполняются в результате природных процессов (меди и алюминия), так и потому, что их запасы восполняются медленнее, чем происходит их потребление (нефть, уголь). Невозобновимые ресурсы считаются экономически истощенными когда выработаны 80 % их оцененных запасов. По достижении этого предела разведка, добыча и переработка остающихся запасов обходится дороже рыночной цены.

**2.1.2. Краткое описание проводимой работы:**

Оцените срок исчерпания природного ресурса, если известен уровень добычи ресурса в текущем году, а потребление ресурса в последующие годы будет возрастать с заданной скоростью прироста ежегодного потребления. Исходные данные для выполнения работы представлены в таблице.

Данные для расчета срока исчерпания ресурса <b>Исходные данные</b>	Варианты									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Ресурс	Каменный уголь	Природный газ	Нефть	Fe	P	Cu	Zn	Pb	Al	U
Запас ресурса, Q, млрд.т.	6800	280	250	12 тыс.	40	0,6	0,24	0,15	12	300
Добыча ресурса, q, млрд.т./год	3,9	1,7	3,5	0,79	0,023	0,008	0,006	0,004	0,016	0,2
Прирост объема потребления ресурса, ТР, % в год	2	1,5	2	2,5	1,8	1,7	1,3	2,2	1,6	2

**Практическое занятие 9 (ПЗ-9) Анализ видовой структуры биоценозов**

4. вид и его структура

5. место вида в экосистеме (экологическая ниша), биоценозе

6. особь и окружающая среда

**2.1.1. Задание для работы**

1. Функциональная структура биоценоза.

2. Видовое биологическое разнообразие в биоценозе.

3. Пространственная структура биоценоза (вертикальная и горизонтальная) и факторы, ее обуславливающие.

4. Биогеоценоз и экосистема: принципиальные различия между понятиями В.Н. Сукачева и А. Тенсли.
5. Детритные и пастьбищные трофические цепи: различия в примерах.
  6. Продукционная способность и видовое разнообразие экосистем северных морей.
  7. Продукционная способность и видовое разнообразие степных экосистем.
  8. Продукционная способность и видовое разнообразие экосистем таежной зоны.
  9. Продукционная способность и видовое разнообразие тропических лесов.
  10. Первичные сукцессии на примере заселения безжизненных пространств после локальных природных катализмов (извержения вулканов, пожары и т.д.).
  11. Вторичные сукцессии на примере смен экосистем суши/моря (по выбору).

2.1.2. Результаты и выводы:

В результате проведения практического занятия студентами тема усвоена.

**Практическое занятие 10 (ПЗ-10) Динамика биоценозов во времени**

4. Взаимосвязи разных компонентов биоценозов.
5. Полнота биотического круговорота.
6. Особенности сукцессии биоценозов.

2.1.1. Задание для работы

1. Рассмотреть вопросы.

Развитие биоценозов во времени носит название сукцессий.

Сукцессия – последовательная смена биоценозов на одном и том же биотопе.

Сукцессионный ряд – цепь меняющих друг друга биоценозов.

Сукцессии протекают с разной скоростью и замедляются при приближении системы к устойчивому состоянию – климаксу.

Состояние климакса характеризуется максимальной адаптированностью сообщества к условиям биотопа, максимальной сомкнутостью биотических круговоротов, постоянным видовым составом, высокой продуктивностью.

Концепция «климакса» подразумевает, что любое сообщество стремится к состоянию равновесия независимо от того, с какого процесса начиналась сукцессия.

Сукцессии могут быть аутогенными - вызванными внутренними причинами, или аллогенными - под действием внешних факторов, которые в свою очередь могут быть природными - под действием пожаров, наводнений и антропогенными; первичными – на первично безжизненных местах, например скалах и вторичными – на местах разрушенных сообществ, где живые организмы частично сохранились.

Циклические сукцессии связаны с глобальными природными циклами – солнечной активностью, климатическими изменениями.

Эволюционная сукцессия (необратимая) - общая эволюция биосферы Земли.

Смена фаз сукцессии идет по определенным правилам. Каждая предыдущая фаза готовит среду для возникновения последующей, постепенно нарастают видовое многообразие и ярусность, усложняются цепи питания, активизируется деятельность редуцентов. возрастает замкнутость биогеохимических круговоротов. Процесс практически прекращается, когда добавление или исключение видов не приводит к изменению среды.

Длительность сукцессий весьма разнообразна - от 10 лет восстановление распаханного луга, 150-200 лет для восстановления сгоревшего леса, до миллионов лет эволюционной сукцессии.

2.1.3. Контрольные вопросы:

1. Сущность экосистемы.
2. Динамика экосистемы.
3. Загрязнения, самоочищение и устойчивость экосистем.
4. Экологическая сукцессия.
5. Экосистема и биогеоценоз.

2.3.4. Результаты и выводы:

В результате проведения практического занятия студентами тема усвоена.

### **Практическое занятие 11 (ПЗ-11) Сериальные и климаксовые сообщества**

1. Сериальные сообщества.
2. Климаксовые сообщества.

#### 2.1.1. Задание для работы

1. Рассмотреть виды сериальных сообществ.
2. Рассмотреть виды климаксовых сообществ.

#### 2.3.4. Результаты и выводы:

В результате проведения практического занятия студентами тема усвоена.

### **Практическое занятие 12 (ПЗ-12) Основные геохимические циклы. Коллоквиум**

**№2**

1. Структура и основные типы биогеохимических циклов
2. Количественное изучение биогеохимических циклов
3. Закон биогеонной миграции атомов и необратимости эволюции

#### 2.1.1. Задание для работы

1) Основные типы земного вещества и их характеристика. Живое вещество как ведущая сила эволюции земной природы.

2) Основные экологические законы, связанные с веществом биосфера: правила Бейеринка, гипотеза константности, биогеохимические принципы В.И. Вернадского, аксиома биогенной миграции атомов, уравнение Рэдфилда.

3) Система биомов, Гипотеза абиссальных сгущений жизни.

4) Круговороты вещества: большой и малый. Их особенности, скорости и функции.

Особенности круговоротов загрязняющих веществ.

- 5) Круговороты воды и кислорода.
- 6) Круговороты углерода и азота.
- 7) Круговороты фосфора, серы и урана.

#### 2.3.4. Результаты и выводы:

В результате проведения практического занятия студентами тема усвоена.

### **Практическое занятие 13 (ПЗ-13) Описание биогеохимических циклов**

1. Виды геохимических циклов.

#### 2.1.1. Задание для работы

1. Понятие и виды круговоротов веществ.

2. Движущие силы и значение круговоротов.

3. Биогеохимические циклы углерода / азота / кислорода / серы / фосфора / воды (по выбору).

4. История формирования современного состояния геосфер

5. Геохимическое районирование Земли.

6. История вмешательства человека в естественный ход геологических процессов.

7. Перспективы развития картины преобразования человеком естественного облика Земли.

8. Естественные защитные механизмы в биогеохимических круговоротах.

9. Теория коэволюции в парадигме синергизма.

10. Труды В.И. Вернадского.

11. Воздействие антропогенных факторов на круговороты веществ.

#### 2.3.4. Результаты и выводы:

В результате проведения практического занятия студентами тема усвоена.

### **Практическое занятие 14 (ПЗ-14) Расчет объемов миграции биогенных элементов в экосистемах**

1. Расчет миграции биокостного вещества.

#### 2.1.1. Задание для работы

1. Закончите схему экосистемы (рис.1), указав компоненты, обозначенные цифрами.

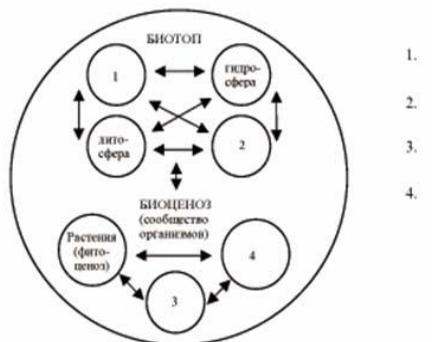


Рис. 1. Схема экосистемы

1. Приведите пример функций живого вещества, о которых писал В.И. Вернадский. Осуществляя эти функции, организмы создали себе среду обитания. Опишите процессы, о которых говорил В.И. Вернадский. Приводила ли замена одних организмов другими в ходе эволюции к изменению биогеохимических функций живого вещества?

2. Заполните недостающие компоненты в схеме разнообразия экосистем (рис.2):

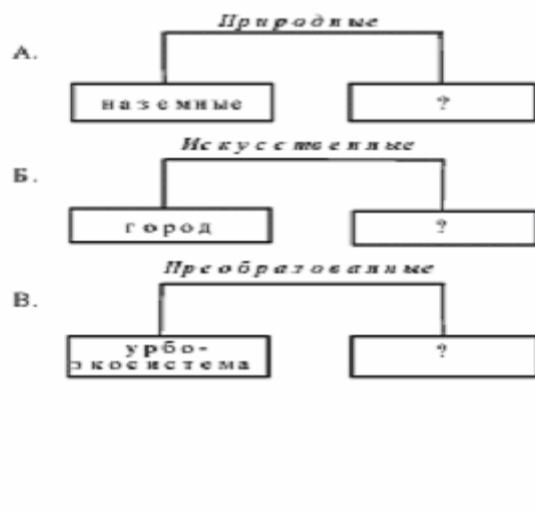


Рис. 2. Схема разнообразия экосистем

1. Приведите примеры цепей питания, начинающихся с мертвых растительных остатков, с одноклеточных водорослей, с наземных растений и заканчивающихся человеком.

2. В таблице 1 приведены данные о продуктивности леса и поля пшеницы. Сравните данные и сделайте вывод о продуктивности этих экосистем. Каково значение этих экосистем для биосферы?

#### Сравнительная продуктивность

биогеоценоза и агрофитоценоза Экосистема	Продуктивность
1 га леса	2 ц грибов, 5 ц орехов, 6 ц черники и брусники, 6 ц малины, 25 т березового сока, древесина
1 га поля	15 – 30 ц зерна

1. Приведите примеры эври- и стенотермных организмов, соответствующих номерам 1, 2, 3 на схеме (рис.3),

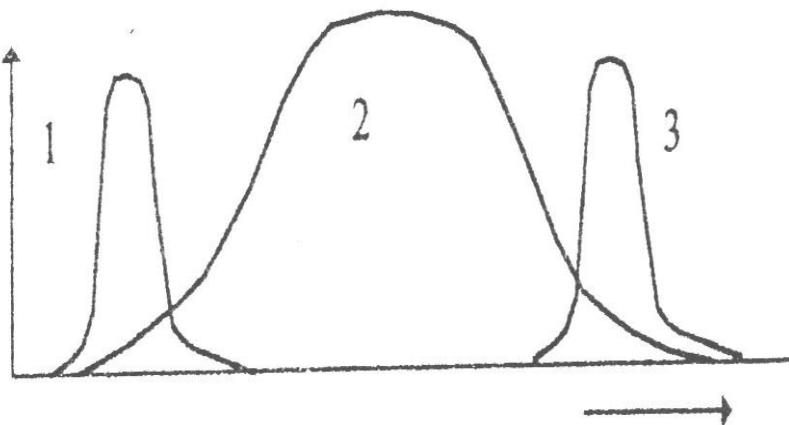


Рис. 3. Реакция организмов на действие фактора  
если на оси X - значения температуры в градусах Цельсия; Y - степень  
благоприятности фактора.

1. Рассчитайте потенциальные потери от затопления долины реки Катунь и изменения ее климатических характеристик водохранилищами ГЭС на курортных ресурсах, если учесть, что потенциальная емкость курортного места Чемальского курорта на Катуни составляет 15 тысяч человек в год. Исходя из международной практики, условно потеря трудоспособности одним человеком в экономическом выражении утраивается (считается, что двое должны его содержать) и с учетом социальной издержки (дурной пример, стресс и т.д.) экспертная потеря одной незаменимой лечебной путевки в этот туберкулезный санаторий можно оценить примерно в 150 тысяч рублей.

2. Покажите в чем принципиальная разница между естественной и искусственной системами, заполнив таблицу 2.

Биогеоценозы агрофитоценозы <b>Признаки для сравнения</b>	Природные биогеоценозы	Агрофитоценозы
1. Видовое многообразие 2. Наличие пищевых цепей 3. Экологические ниши 4. Характеристика круговорота веществ 5. Инвестиции 6. Продуктивность 7. Саморегуляция		

1. Способность биоаккумулироваться (накапливаться в живых организмах) проявляют ионы многих тяжелых металлов (ртуть, свинец, кадмий и др.), инсектициды, гербициды и другие вещества. В таблице 3 приведены цифры, иллюстрирующие биоаккумуляцию ДДТ.

Концентрации ДДТ в трофической цепи водоема <b>Звено трофической цепи</b>	Концентрация ДДТ (к сырой массе живых организмов)
Вода	19,392 мкг/л
Фитопланктон	192 мкг/кг
Зоопланктон	9,6 * 10-5 %
Рыбы, питающиеся зоопланктоном	48 мг/кг
Хищные рыбы	9,6 * 10-5 мас. доля
Птицы, питающиеся рыбой	2,4 г/кг

Переведите эти данные в единую систему измерения и укажите, во сколько раз возрастает концентрация ДДТ при переходе к каждому последующему звену трофической цепи.

1. Используя дополнительную литературу, дайте определение понятий по образцу: **стенобионты** – организмы, которые могут выжить лишь в узком диапазоне значений

фактора среды; эврибионты – организмы, способные существовать в широком диапазоне значений фактора (рис.4).

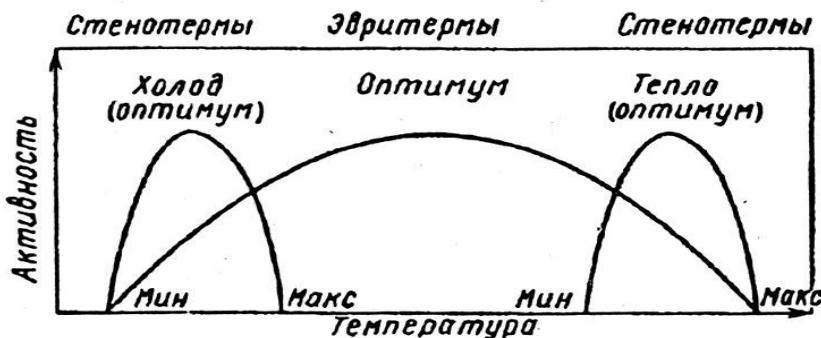


Рис. 4. Рис. 4. Эвритермные и стенотермные организмы  
Стенотермные способны выдерживать лишь колебания температуры в узких пределах.

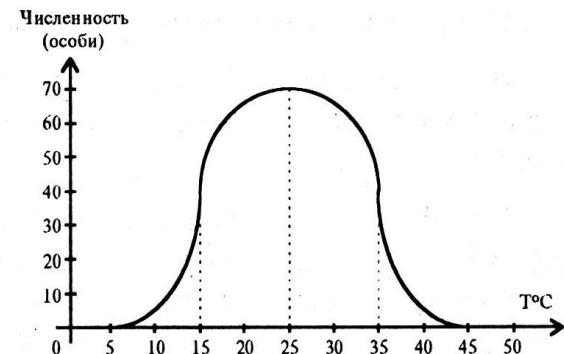
- Стенобат (1) – эврибат (2)
- Стеногал (1) – эвригал
- Стенотерм (1) – эвритерм (2)
- Стенотоп (1) – эвритоп (2)
- Стенотроф (1) – эвритроф (2)
- Стенофот (1) – эврифот (2)
- Стеноион (1) – эврийон (2)
- Стенооксибионт (1) – эвриоксибионт (2)

1. Температурный фактор является одним из наиболее значимых в природе. На рисунке 5 изображен график зависимости численности колорадского жука от температуры окружающей среды.

#### 2.1.2. Краткое описание проводимой работы:

Укажите:

- температуру, оптимальную для данного вида;
- пределы выносливости вида;
- температуру, ограничивающую жизнедеятельность вида;
- диапазон температур для зон угнетения.



1. Укажите, какое из приведенных ниже определений соответствуют понятиям: а) хищничество; б) коменсализм; в) мутуализм (в том числе и симбиоз); г) паразитизм; д) конкуренция; е) квартиранство; ж) нахлебничество; з) нейтрализм.

1. Особи одного вида поедают особей другого или того же вида.
2. Одни организмы получают от других необходимые питательные вещества и место постоянного или временного обитания.
3. Сожительство особей двух видов не дает ни положительных, ни отрицательных последствий.
4. Одни организмы «доедают» пищу, оставленную другими организмами или потребляют ее одновременно с тем, кто добыл, но в мизерном количестве.

5. Особи одного вида или нескольких видов со сходными потребностями существуют при ограниченных ресурсах, что приводит к снижению жизненных показателей взаимодействующих особей.

6. Совместное взаимовыгодное сосуществование особей двух или более видов.

7. Особи одного вида предоставляют убежища особям другого вида, и это не приносит ни вреда, ни пользы.

8. Особи одного вида не получают ни вреда, ни пользы, однако, осуществляют вредное воздействие на особей другого вида.

В природе факторы действуют на организм не разрозненно, а корректируют друг друга. Перед вами график зависимости смертности куколок опасного вредителя плодово-ягодных культур - бабочки яблоневой плодожорки от двух факторов: температуры и влажности (рис.6).

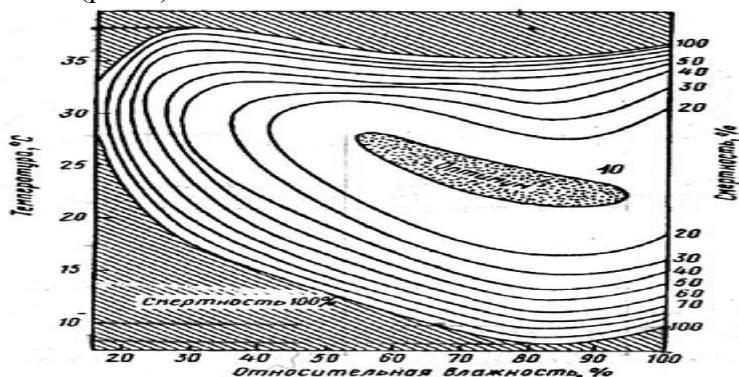


Рис. 6. Зависимость смертности куколок бабочки яблоневой плодожорки от температуры и влажности

А. Определите, какой фактор будет ограничивающим в точке с координатами: 1. То + 10оС; влажность – 100 %; 2. То + 4оС; влажность – 80 %; 3. То + 40оС; влажность – 80 %;

Б. Укажите диапазон оптимальной для вида: 1. Температуры; 2. Влажности;

В. Назовите пределы выносливости вида: 1. По температуре; 2. По влажности.

Г. Укажите, при каких показателях температуры и влажности смертность ничтожна.

1. Укажите, согласны ли Вы с утверждениями:

а) один отдельный организм можно считать экосистемой в отдельных случаях;

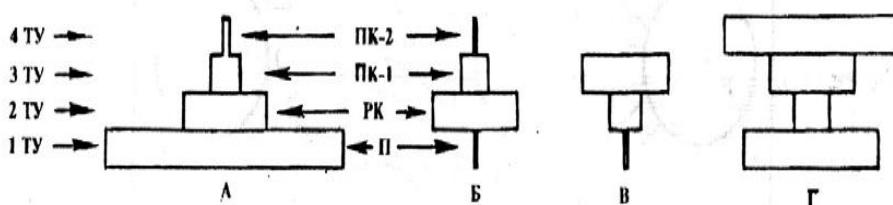
б) пастищные цепи сильнее выражены на суше;

в) экотоны беднее по видовому составу, чем соседние экосистемы;

г) снижение числа видов обычно приводит к снижению обилия отдельных форм.

1. Укажите, какая из пирамид численности (рис. 7) соответствует следующей пищевой цепи:

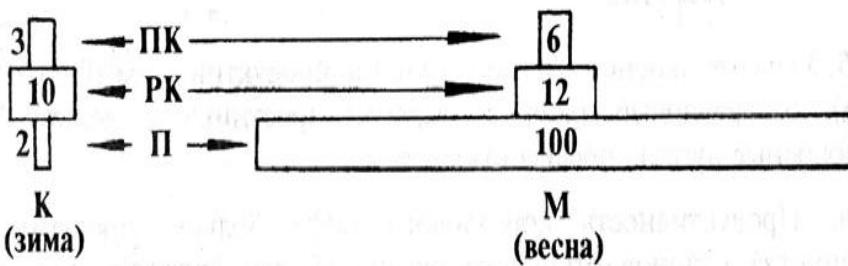
Трава – травоядное млекопитающее – блоха – жгутиковое простейшее



Обозначения:  
П-продуценты,  
РК-растительные консументы,  
ПК-1 и ПК-2 плотоядные консументы I и II  
порядка,  
ТУ- трофические уровни.

Рис. 7. Пирамиды численности

1. На пирамидах М и К (рис. 8) отображена биомасса планктона в одном из озер весной и зимой. Объясните, почему в течение года пирамида переворачивается.



**Рис. 8. Пирамида биомассы планктона.** Обозначения: П – продуценты, РК – растительноядные консументы, ПК – плотоядные консументы. Цифры означают продуктивность, выраженную в граммах сухой массы, приходящуюся на 1 м<sup>3</sup>.

1. Дайте характеристику экологической ситуации региона по следующим показателям: наличие памятников природы, редкие и исчезающие виды растений и животных, состояние атмосферного воздуха, водных и земельных ресурсов, основные проблемы, связанные с развитием промышленного сектора.

2. Оцените состояние экосистем в районах Оренбургской области по соотношению антропогенно-нарушенных и ненарушенных территорий. Руководствуйтесь мнением Ю. Одума о сохранении устойчивости природных процессов при соотношении: 60 % ненарушенных и 40 % освоенных территорий. Для анализа используйте литературные обзоры и аналитические сборники по состоянию природной среды Оренбургской области, а так же интернет – ресурсы.

#### 2.3.4. Результаты и выводы:

В результате проведения практического занятия студентами тема усвоена.

### **Практическое занятие 15 (ПЗ-15) Антропогенный геохимический цикл.**

1. Определение загрязнения окружающей среды по физико-химическим характеристикам снега.

#### **Определение токсичности проб снега по хемотоксической реакции инфузорий**

2.1. Цель работы: оценить степень загрязнения атмосферы по уровню токсичности проб снега с использованием метода биоиндикации.

**Материалы и оборудование:** кюветы, культура инфузорий, 5 % раствор поливинилового спирта, снеготалая вода, дистиллированная вода, калькулятор, ручка, тетрадь.

#### 2.1.1. Задание для работы

В качестве тест-объекта в данной работе используются простейшие *Paramcium caudatum* - инфузории-туфельки. Эти простейшие имеют размеры от 30 мкм до 1-2 мм, по форме напоминают туфельку. Обитают инфузории обычно в пресных реках и прудах. Все тело инфузорий покрыто множеством ресничек, которые выполняют функции передвижения и подгона пищи к ротовому отверстию. По сравнению с другими простейшими инфузории имеют наиболее сложное строение и всегда находятся в непрерывном движении (передвигаются они со скоростью до 2,5 мм/с). Движение инфузорий целенаправленно и называется таксисом. Возникает таксис под влиянием односторонне действующего стимула - света (фототаксис), температуры (термотаксис), различных химических веществ (хемотаксис), кислорода (аэробаксис), влажности (гидратаксис). Таксис может быть положительным (движение к источнику раздражения) и отрицательным (движение от источника раздражения).

Метод определения токсичности основан на способности инфузорий реагировать на присутствие в водной среде веществ, представляющих опасность для их жизнедеятельности, отрицательным хемотаксисом. Параметры хемотаксической реакции инфузорий определяются с помощью приборов серии «Биотестер» (в данной работе «Биотестер-2»). Хемотаксическая реакция стимулируется путем наслаждения на взвесь инфузорий раствора

исследуемого вещества. Для этого взвесь инфузорий и исследуемый раствор последовательно вносят в кювету (небольших размеров прямоугольная стеклянная емкость). В кювете должна образовываться стабильная граница раздела двух жидкостей, для чего взвесь тестовых инфузорий предварительно можно обработать нейтральным загустителем (поливиниловым спиртом). Граница раздела жидкостей не препятствует свободному перемещению инфузорий, но позволяет избежать смешивания взвеси инфузорий с раствором исследуемого вещества.

В нормальных условиях инфузории будут концентрироваться в верхней части кюветы ближе к свободному кислороду воздуха (положительный аэротаксис). Наличие же в исследуемом растворе токсических веществ приводит к иному характеру перераспределения инфузорий в кювете, а именно: чем выше токсичность пробы, тем меньше инфузорий будет перемещаться в верхнюю зону кюветы (отрицательный хемотаксис).

Критерием токсического действия исследуемого вещества является степень различия в числе инфузорий, наблюдаемых в верхней зоне кюветы в контрольной пробе (заведомо не содержащей токсических веществ) по сравнению с исследуемой пробой.

Количество инфузорий, наблюдаемых в верхней зоне кюветы, позволяет определить прибор «Биотестер-2», принцип работы которого заключается в следующем. При помещении кюветы (контрольной или опытной) в кюветный модуль прибора через верхнюю часть кюветы пропускается монохроматический световой поток. Пройдя через кювету, поток света преобразуется фотодиодами и фотометрическим преобразователем в электрический выходной сигнал, который, пройдя через аналого-цифровой преобразователь, выsvечивается в виде значений на информационном табло прибора. Эти значения характеризуют среднюю концентрацию движущихся инфузорий в верхней зоне кюветы, поскольку при наличии движущихся клеток изменяется коэффициент пропускания жидкой среды (инфузории отражают часть световых лучей и чем выше их концентрация, тем меньше световых лучей достигнет фотодиодов).

#### 2.1.2. Краткое описание проводимой работы:

Объектом исследования служат пробы снега, взятые в разных по степени антропогенной нагрузки участках города (вблизи автодороги, на территории промышленного предприятия, в глубине парковой зоны и т.д.).

1. В контрольную и опытную кюветы вносят по 2 мл взвеси тестовых инфузорий, в каждую кювету добавляют по 0,35 мл 5% раствора поливинилового спирта, содержимое кювет тщательно перемешивают.

2. В опытную кювету на взвесь инфузорий аккуратно насылаивают 1,6 мл исследуемой жидкости (растаявшего снега), не допуская перемешивания с нижним слоем. В контрольную кювету вместо исследуемой жидкости вносят 1,6 мл заведомо не токсичной жидкости, например, дистиллированной воды.

3. Через 30 минут кюветы последовательно помещают в кюветный модуль и определяют концентрацию инфузорий в верхней зоне кюветы в условных единицах. В том случае если концентрация токсических веществ настолько велика, что инфузории не выходят в верхнюю зону кюветы, то на передней панели прибора начинает мигать светодиод «ТРЕВОГА». Это означает, что исследуемую пробу необходимо разбавить, а затем при проведении расчетов скорректировать результат с учетом степени разведения.

4. Оценку токсичности исследуемой жидкости производят по степени различия количества инфузорий, наблюдаемых в верхней зоне кюветы в контрольной и опытной пробе. Для чего определяют индекс токсичности (T) по формуле:

$$T = (I_{\text{контроль}} - I_{\text{опыт}}) / I_{\text{контроль}}, \text{ где}$$

I контроль и I опыт это средние показания прибора для контрольной и опытной проб соответственно.

Некоторые пробы могут содержать безопасные и даже привлекательные для инфузорий вещества. В таких случаях I опыт может даже несколько превышать I контроль. Полученные отрицательные значения индекса токсичности свидетельствуют об отсутствии токсичности и могут быть оценены как нулевые.

По результатам работы делают заключение, с учетом того, что индекс токсичности может принимать значения от 0 до 1. При этом допустимой степенью токсичности обладает проба со значениями Т меньше 0,40. В том случае если Т превышает значение 0,71, то такая проба считается высокотоксичной.

#### 2.1.3. Контрольные вопросы:

1. Перечислите известные вам эффекты воздействия поллютантов различной природы на живые организмы.
2. Какие виды простейших, кроме инфузорий, вы знаете?
3. Что такое таксис? Какие виды таксиса вы знаете?
4. Зачем тест-объекты перед постановкой пробы обрабатывают поливиниловым спиртом?
5. Изобразите принцип работы прибора «Биотестер-2» в виде схемы.
6. Основные загрязнители и их влияние на здоровье людей и биоценозы: органические вещества, тяжелые металлы, радионуклиды, сера и азот.
7. Антропогенные изменения биосферы.
8. Загрязнение атмосферы.
9. Изменение состава гидросферы и литосферы под воздействием антропогенных процессов.
10. Характеристика основных антропогенных источников загрязнения.
11. Горные разработки и связанное с ними загрязнение.
12. Нефтедобывающая и нефтеперерабатывающая промышленность как источник
13. Углеводородного загрязнения.
14. Понятие о техногенных геохимических аномалиях как объектах источниках агрязнения.

#### 2.3.4. Результаты и выводы:

В результате проведения практического занятия студентами тема усвоена.

### **Практическое занятие 16 (ПЗ-16) Газоустойчивость древесных растений.**

#### 1. Определение газоустойчивости растений.

##### Цель работы:

Экспресс-оценка газочувствительности по состоянию хвои *Pinus sylvestris*.

**Материалы и оборудование:** лупа, стенды с хвоей разной степени поврежденности.

##### 2.1.1. Задание для работы

1. Чувствительность хвойных пород к сернистому газу.
1. Выбрать сосенки высотой 1 – 1,5 м на открытой местности с 8 – 15 боковыми побегами.
2. Осмотреть у каждого дерева хвоинки предыдущего года (вторые сверху мутовки).
3. Выявить степень повреждения хвои. Степень повреждения хвои определяют по наличию хлоротичных пятен, некротических точек, некрозов и т.д. (рис. 2.1).
4. Определить продолжительность жизни хвои (рис. 2.2).
5. Результаты учетов занести в таблицу (см. табл. 2.2).
6. Провести экспресс-оценку загрязнения воздуха по классу повреждения хвои на побегах второго года жизни с помощью таблицы 2.1.
7. Привести в отчете выводы о качестве воздуха (привести расчеты и таблицы).

##### **Классы повреждения и усыхания хвои**

**Повреждения:** 1 – хвоинки без пятен; 2 – с небольшим числом мелких пятнышек; 3 – с большим числом черных и желтых пятен, некоторые из них крупные, во всю ширину хвоинки;

**Усыхание:** 1 – нет сухих участков; 2 – усох кончик на 2–5 мм; 3 – усохла третья хвоинка; 4 – вся хвоинка желтая или более половины ее длины сухая.

### Экспресс-оценка загрязнения воздуха (I – VI)

с использованием сосны обыкновенной		Максимальный возраст хвои		Класс повреждения хвои на побегах второго года жизни	
4	I			I – II	III
3	I			II	III – IV
2	II			III	IV
2	HC			IV	IV – V
1	HC			IV	V – VI
1	HC			HC	VI

#### 2.3.4. Результаты и выводы:

В результате проведения практического занятия студентами тема усвоена.

### **Практическое занятие 17 (ПЗ-17) Расчет выбросов оксида углерода, углеводородов, оксидов азота и серы, сажи в атмосферу автотранспортными средствами.**

#### 2. Решение задач.

#### **Определение количества антропогенных загрязнений, попадающих в окружающую среду в результате работы автотранспорта**

##### Цель работы:

Изучить экспресс-методику определения степени загрязнения атмосферного воздуха токсическими веществами, содержащимися в выхлопных газах городского автотранспорта.

**Материалы и оборудование:** часы, ручки, тетрадь, калькулятор.

##### 2.1.1. Задание для работы

Двигатели внутреннего сгорания автомобилей являются основным источником загрязнения атмосферы в городах и густонаселённых регионах. В частности, в масштабах нашей страны доля транспорта в суммарных выбросах загрязняющих веществ в атмосферу от всех источников достигает 45%, в выбросах парниковых газов - примерно 10%, в сбросах вредных веществ со сточными водами - около 3%.

Основными вредными примесями, содержащимися в выхлопных газах двигателей, являются: оксид углерода, оксиды азота, различные углеводороды, включая и канцерогенный 3,4-бенз(а)пирен, альдегиды, сернистые газы. Бензиновые двигатели, кроме того, выделяют продукты, содержащие свинец, хлор, бром, а иногда и фосфор, а дизельные - значительные количества сажи и частичек копоти ультрамикроскопических размеров. Каждая машина с бензиновым двигателем, прошедшая 15 тыс. км, потребляет 4350 кг кислорода и выбрасывает 530 кг CO, 93 кг углеводородов, 27 кг оксида азота. 75% свинца, содержащегося в высокооктановом бензине, переходит в атмосферу, то есть каждый автомобиль ежегодно выбрасывает в воздух до 1 кг свинца. В целом, отработанные газы двигателей внутреннего сгорания содержат более 200 вредных веществ и наименований.

##### 2.1.2. Краткое описание проводимой работы:

Выберите несколько различных участков автотрассы длиной около 100 м. Определите число единиц автотранспорта проходящих по выбранному участку в течение 30 или 60 мин. При этом учитывайте, сколько автомобилей определенного типа (легковые, грузовые, автобусы, дизельные грузовые автомобили) проехало по выбранному участку. В том случае если наблюдение заняло 30 мин, полученный результат умножьте на 2.

Рассчитайте среднее число учтенных автомобилей для каждого типа автотранспорта в зависимости от количества выбранных участков трассы, после чего заполните следующую таблицу 6-1:

Таблица 6-1

Среднее число учтенных автомобилей Тип автотранспорта	Всего за 30 мин	Всего за 1 час
Легковые автомобили		
Грузовые автомобили		

Автобусы
Дизельные грузовые автомобили

#### 2.3.4. Результаты и выводы:

В результате проведения практического занятия студентами тема усвоена.

### **Практическое занятие 18 (ПЗ-18) Уровни производства органического вещества в природе. Коллоквиум 3.**

1. Уровни производства органического вещества в природе.
2. Уровни производства органического вещества в Оренбургской области.

#### 2.1.1. Задание для работы

1. Рассмотреть вопросы

Различают разные уровни производства, на которых создается первичная и вторичная продукция. Органическая масса, созданная производителями в единицу времени, называется первичной продукцией, а прирост за единицу времени массы консументов - вторичной продукцией.

Первичная продукция подразделяется как бы на два уровня - валовую и чистую продукцию. Валовая первичная продукция - это общая масса валового органического вещества, созданная растением в единицу времени при данной скорости фотосинтеза, включая и затраты на дыхание.

Растения тратят на дыхание от 40 до 70% от валовой продукции. Меньше всего ее тратят планктонные водоросли - около 40% от всей использованной энергии. Та часть валовой продукции, которая не израсходована «на дыхание», называется чистой первичной продукцией: она представляет собой величину прироста растений и именно эта продукция потребляется консументами и редуцентами.

Вторичная продукция не делится уже на валовую и чистую, так как консументы и редуценты, т. е. все гетеротрофы, увеличивают свою массу за счет первичной продукции, т. е. используют ранее созданную продукцию.

Рассчитывают вторичную продукцию отдельно для каждого трофического уровня, так как она формируется за счет энергии, поступающей с предшествующего уровня.

Все живые компоненты экосистемы - производители, консументы и редуценты - составляют общую биомассу («живой вес») сообщества в целом или его отдельных частей, тех или иных групп организмов. Биомассу обычно выражают через сырой и сухой вес, но можно выражать и в энергетических единицах - в калориях, джоулях и т. п., что позволяет выявить связь между величиной поступающей энергии и, например, средней биомассой.

3. рассмотреть первичный и вторичный уровни в Оренбургской области (примеры).

#### 2.3.4. Результаты и выводы:

В результате проведения практического занятия студентами тема усвоена.

### **Практическое занятие 19 (ПЗ-19) Экологические пирамиды**

1. Виды пирамид.
2. Решение задач.

### **Изучение демографических показателей**

#### Цель работы:

Научиться собирать данные о продолжительности жизни, смертности и рождаемости людей; строить с использованием этих данных кривые выживаемости для разных периодов; объяснять на основе графиков, как изменилась продолжительность жизни (за последние 80-100 лет) и как это повлияло на рост населения.

**Материалы и оборудование:** калькулятор, ручка, тетрадь, рулон бумажной ленты, карандаш, 2.1.1. Задание для работы

Современный этап развития человечества характеризуется ускоренным ростом народонаселения. Рост населения Земли приобрел стремительные темпы и получил название демографического взрыва. В настоящее время на планете каждую минуту рождаются примерно 180 человек, каждую секунду рождается 21 и умирают 19 человек. Таким об-

разом, население Земли увеличивается на 2 человека в секунду, на 250 тысяч ежедневно. За год прирост составляет приблизительно 80 млн., причем он практически весь приходится на развивающиеся страны. Так, темпы роста населения Кении (Восточная Африка) – около 4 % в год – более высокие, чем в любой другой стране мира. В то же время самые крупные страны – США, Россия характеризуются уменьшением годового прироста до 0,5 % и этот показатель продолжает падать, а в Европе он близок к нулевому.

В наше время удвоение численности людей на планете происходит за 35 лет, а производство пищи растет на 2,3 % в год и удваивается за 30 лет.

Демографы обычно пользуются общими коэффициентами рождаемости и смертности. Общий коэффициент рождаемости отражает число живорожденных детей на 1000 жителей за год к середине данного года (к 1 июля). Общий коэффициент смертности – число смертей за год на 1000 жителей к середине данного года. В России коэффициент смертности с начала 90-х годов превышал коэффициент рождаемости. Этот феномен получил название «Российского креста».

#### 2.1.2. Краткое описание проводимой работы:

##### **Рост народонаселения и суммарный коэффициент рождаемости.**

Работа выполняется парами.

1) Отрезки бумажной ленты будут соответствовать ступеням половозрастной пирамиды. Пусть отрезок длиной 1(2) см соответствует 1000 человек. Условимся, что в каждой возрастной группе одинаковое количество мужчин и женщин.

2) Отложите по вертикальной оси возрастную шкалу. Для этого наклейте вертикально полоску ленты. Разметьте на ней возрастные интервалы по 10 лет. Их длина должна соответствовать ширине ленты. Возраст увеличивается снизу вверх: 0-9 лет и т.д. до 90-100 лет.

3) Предположим, что две популяции А и Б, включающие каждая 5000 человек возрастом 0-9 лет, 4000 от 10 до 19 лет и 3000 от 20 до 29 лет, заселяют две недавно открытые и пригодные для жизни планеты. С помощью бумажной ленты представьте состав обеих популяций справа и слева от возрастной шкалы.

4) Вам нужно построить кривую роста популяций, учитывая рождение детей, увеличение возраста, смерть от старости. Для этого составьте для каждой популяции следующую таблицу 7-1. Таблица 7-1

Демографические показатели Годы	Число новорожденных	Число умерших	Естественный прирост (новорожденные минус умершие)	Общая численность (тыс. человек)
0				
10				
20 и т.д.				

#### **Практическое занятие 20, 21 (ПЗ-20, 21) Лихеноиндикация**

1. Определение загрязненности атмосферного воздуха методом лихеноиндикации.

##### Цель работы:

Целью данного исследования является методом лихеноиндикации оценить экологическое состояния атмосферной среды в определенном участке города.

##### 2.1.1. Задание для работы

1. Оценить качество воздуха по проективному покрытию ствола дерева.
  2. Научиться пользоваться каталогами-определителями лишайников.
  3. Освоить классификацию качества воздуха по биотическому индексу.
  4. Изучить классы полеотолерантности и типы местообитаний эпифитных лишайников.
  5. Ознакомиться с индексом полеотолерантности вида и его применения в биоиндикации.
- Материалы и оборудование:** атлас-определитель лишайников, лупа, стенды.

### 2.1.3. Контрольные вопросы:

1. Лишайники – определение. Биология лишайников.
2. Деление лишайников по типу слоевища.
3. Устойчивость лишайников к загрязнителям.
4. Биотический индекс.
5. Классы полеотолерантности и типы местообитаний эпифитных лишайников.
6. Индекс полеотолерантности.

### 2.1.2. Краткое описание проводимой работы:

1. Выбрать место обследования (парк, освещенный участок леса, двор в городе).
2. Выбрать площадку для исследования, включающую 10 деревьев одного вида примерно одного возраста и размера.
3. Изготовить прозрачную сетку из толстого полиэтилена в виде квадрата 20x20 см, разделенную на 10 частей с каждой стороны (100 квадратов).
4. Приложить прозрачную сетку плотно к стволу дерева на высоте 0,3 – 1,3 м. Подсчитать количество квадратов с лишайниками.
5. Подсчитать количество всех видов лишайников под прозрачной сеткой.
6. Подсчитать количество лишайников доминирующего вида.
7. Заполнить таблицу 1.
8. С помощью таблицы 2 оценить качество воздуха, используя средние значения (по 10 деревьям) числа видов лишайников, степени покрытия и общего количества лишайников на каждом исследуемом дереве.

### **Журнал оценки качества воздуха**

по проективно му покрытию ствола дерева Порядковый номер дерева на схеме	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Степень покрытия лишайниками, %										
Количество видов лишайников										
Количество лишайников доминирующего вида										

### 2.3.4. Результаты и выводы:

В результате проведения практического занятия студентами тема усвоена.

## **Практическое занятие 22 (ПЗ-22) Оценка качества среды по величине флюктуирующей асимметрии листьев бересклета повислого**

**1.** Оценка качества среды по величине флюктуирующей асимметрии листьев бересклета повислого

### **Биоиндикация качества окружающей среды с использованием древесных растений.**

#### Цель работы:

определить степень загрязнения городской среды с помощью биоиндикационных показателей.

**Материалы и оборудование:** линейка, циркуль, транспортир, полиэтиленовый пакет, ручка, тетрадь.

### 2.1.1. Задание для работы

В основе биоиндикации лежат реакции организмов на воздействие факторов окружающей среды. Антропогенные воздействия, с одной стороны, представляют собой новые параметры среды, с другой – обуславливают антропогенную модификацию уже имевшихся природных факторов и тем самым изменение свойств биологических систем. Если эти новые параметры значительно отклоняются от соответствующих исходных величин, то возможна биоиндикация. Соответственно, организмы, жизненные функции которых так тесно коррелируют с определенными факторами среды, что могут применяться при их оценке, называются биоиндикаторами.

При биоиндикации изменение биологических систем всегда зависит как от антропогенных, так и от природных факторов среды. Они реагируют на воздействие среды в целом в соответствии со своей предрасположенностью, то есть, такими внутренними факторами, как условия питания, возраст, генетически контролируемая устойчивость и уже присутствующие нарушения. Интенсивность воздействия факторов окружающей среды на организмы различна, также как и различны по своим свойствам сами организмы. Реакция каждого биологического объекта индивидуальна и зависит от интенсивности, вида, времени и других показателей воздействия.

Одним из биоиндикационных показателей трансформации окружающей среды и ее воздействия на живой организм является нарушение симметрии. Состояние природных популяций билатерально симметричных организмов может быть оценено через анализ величины флюктуирующей асимметрии, характеризующей мелкие ненаправленные нарушения стабильности развития и являющейся интегральным ответом организма на состояние окружающей среды. Исходным является положение, что минимальный уровень флюктуирующей асимметрии должен иметь место лишь при оптимальных условиях развития. При стрессовых воздействиях этот показатель возрастает, отражая отклонения в процессе онтогенеза. Предполагается известной генетически заданная норма развития, а любые отклонения признака от симметричности означают отклонения от этой нормы.

Растения, как продукты экосистемы, в течении всей жизни привязанные к локальной территории и подверженные влиянию двух сред: почвенной и воздушной, наиболее полно отражают весь спектр стрессирующих воздействий на систему. Биоиндикационные показатели отражают реакцию организма на все многообразие действующих на него факторов. Наиболее чувствительными из высших растений к атмосферным изменениям, связанным с влиянием антропогенных факторов считаются хвойные (кедр, сосна, ель). Распространенность сосновых лесов в России обуславливает выбор этого объекта в качестве биоиндикатора загрязнения воздуха. Информативными по техногенному загрязнению являются морфологические и анатомические изменения, а так же продолжительность жизни хвои.

В целом, биоиндикационные методы являются весьма эффективными при оценке экологического состояния территории, поскольку живые системы очень чувствительны к изменениям внешней среды и обладают свойством реагировать раньше, чем эти изменения станут очевидными. Преимущество биоиндикаторов состоит в том, что они суммируют все биологически важные данные об окружающей среде и отражают ее состояние в целом; устраниют трудную задачу применения дорогостоящих методов исследования; исключают невозможность регистрации залповых и кратковременных выбросов токсикантов; указывают пути и места скопления в экосистемах различного рода загрязнений; позволяют судить о степени вредности веществ для живой природы и т.д. Оценка стабильности биологических систем любого уровня крайне необходима, особенно для определения степени антропогенного воздействия.

#### 2.1.2. Краткое описание проводимой работы:

##### **1. Биоиндикация качества окружающей среды с использованием Березы повислой (*Betula pendula* Roth.)**

В качестве модельного объекта выбирается обычный, широко распространенный вид, в данном случае береза повислая (*Betula pendula* Roth.).

Начинать сбор материала необходимо после завершения интенсивного роста листьев, что соответствует июню и до их опадания осенью. Выборка производиться с растений,

находящихся в сходных экологических условиях. Для анализа используются только средневозрастные растения, избегая молодые и старые. Выборка листьев производится с 10 близкорастущих деревьев по 10 листьев с каждого, всего 100 листьев с одной точки. Листья берутся из нижней части кроны, на уровне поднятой руки, с максимального количества доступных веток. Используются листья с укороченных побегов. Каждая выборка снабжается этикеткой, где указывается дата, место сбора, кто произвел отбор. Листья и этикетка помещаются в полиэтиленовый пакет.

С одного листа снимают показатели по 5-ти параметрам с левой и правой стороны:

1 – ширина половинки листа. Для измерения лист складывают пополам, прикладывая макушку листа к основанию, потом разгибают и по образованной складке производят измерения;

2 – длина второй жилки второго порядка от основания листа;

3 – расстояние между основаниями первой и второй жилок второго порядка;

4 – расстояние между концами этих жилок;

5 – угол между главной жилкой и второй от основания жилкой второго порядка (рис. 5-1).

Измерение угла демонстрирует рисунок 5-2. При этом транспортир (поз. 1 рис. 5-2) располагают так, чтобы центр основания окошка транспортира (поз. 2 рис. 5-2) находился на месте ответвления второй жилки второго порядка (поз. 4 рис. 5-2). Так как жилки не прямолинейны, а извилисты, то угол измеряют следующим образом: участок центральной жилки (поз. 3 рис. 5-2), находящийся в пределах окошка транспортира (поз. 2 рис. 5-2) совмещают с центром транспортира, который равен 90°, а участок жилки второго порядка (поз. 4 рис. 5-2) продлевают до градусных значений транспортира (поз. 5 рис. 5-2), используя линейку. Данные измерений заносятся в таблицу 5-1.

Значения измерений Дата										Исполнитель		
Место сбора												
№ листа	1 признак			2 призна к		3 признак			4 призна к		5 признак	
	л	п	л	п	л	п	л	п	л	п	л	п
1												
2												
3												
4												
5												
6												
7												
8												
9												
10												

#### 2.1.3. Контрольные вопросы:

1. Приведите примеры видов – эдификаторов.
2. Приведите примеры адаптаций животных и растений нашей области к сезонным изменениям в природе.
3. Укажите растение – индикатор кремниевых земель: а) папоротник – орляк; б) бузина красная; в) ежа сборная; г) душица обыкновенная.
4. Укажите растение – нитрофил: а) бодяк полевой; б) крапива двудомная; в) ландыш майский; г) пырей ползучий.
5. Укажите растение – кальцефил: а) фиалка удивительная; б) фи-алка трехцветная; в) эдельвейс; г) чистотел большой.

### **Практическое занятие 23 (ПЗ-23) Антропогенные сукцессии**

#### 1. Виды сукцессий

##### 2.1.1. Задание для работы

1. Антропогенные сукцессии - экологические сукцессии, которые протекают под влиянием деятельности человека. А.с. вызываются либо постоянно действующим внешним фактором (выпас, вытаптывание, загрязнение), либо представляют процесс восстановления экосистем после их нарушения человеком (зарастание залежи, восстановление пастбищ после прекращения интенсивного выпаса, восстановление леса на вырубке и др.). В современной биосфере А.с. играют огромную роль. Необходим экологический мониторинг А.с. с целью прогноза их дальнейшего развития и разработки подходов управления А.с. для уменьшения вреда, который человек наносит биосфере. А.с. очень разнообразны. Они могут иметь разную длительность (от нескольких лет до тысячелетий), быть прогрессивными (сопровождаются повышением биологической продукции экосистем и их видового богатства) или регрессивными (значения этих показателей уменьшаются).

##### 2.3.4. Результаты и выводы:

В результате проведения практического занятия студентами тема усвоена.

### **4. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ПРОВЕДЕНИЮ СЕМИНАРСКИХ ЗАНЯТИЙ**

Не предусмотрено РУП.