

**МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА  
И ПРОДОВОЛЬСТВИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ**

**ГЛАВНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ,  
НАУКИ И КАДРОВОЙ ПОЛИТИКИ**

**Учреждение образования  
«БЕЛОРУССКАЯ ГОСУДАРСТВЕННАЯ  
ОРДЕНОВ ОКТЯБРЬСКОЙ РЕВОЛЮЦИИ  
И ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ  
СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННАЯ АКАДЕМИЯ»**

**Кафедра ихтиологии и рыбоводства**

*М.М. Усов, О.В. Усова*

# **ЭКОЛОГИЯ РЫБ**

*Методические указания  
по изучению дисциплины для студентов,  
обучающихся по специальности  
6-05-0831-01 Водные биоресурсы и аквакультура*

**Горки  
БГСХА  
2024**

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА  
И ПРОДОВОЛЬСТВИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

ГЛАВНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ,  
НАУКИ И КАДРОВОЙ ПОЛИТИКИ

Учреждение образования  
«БЕЛОРУССКАЯ ГОСУДАРСТВЕННАЯ  
ОРДЕНОВ ОКТЯБРЬСКОЙ РЕВОЛЮЦИИ  
И ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ  
СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННАЯ АКАДЕМИЯ»

Кафедра ихтиологии и рыбоводства

*М.М. Усов, О.В. Усова*

# ЭКОЛОГИЯ РЫБ

*Методические указания  
по изучению дисциплины для студентов,  
обучающихся по специальности  
6-05-0831-01 Водные биоресурсы и аквакультура*

Горки  
БГСХА  
2024

УДК 639.3:591.5(075.8)

*Рекомендовано методической комиссией факультета  
биотехнологии и аквакультуры . .2023 (протокол № )  
и Научно-методическим советом БГСХА . .2023 (протокол № )*

Авторы:

кандидат сельскохозяйственных наук, доцент *М. М. Усов*;  
старший преподаватель *О. В. Усова*

Рецензенты:

доктор сельскохозяйственных наук, профессор *Н.А. Садо́мов*;

#### СОДЕРЖАНИЕ

Тема 1. Изучение принципов строения экологических систем.....	3
Тема 2. Изучение пищевых цепей и трофических уровней .....	7
Тема 3. Изучение энергетики и продукции экосистем.....	11
Тема 4. Изучение динамических процессов в экосистеме .....	14
Тема 5. Определение естественной кормовой базы прудов .....	20
Тема 6. Параметры роста популяции рыб .....	28
Тема 7. Определение типа пространственного распределения особей в популяции рыб.....	30
Тема 8. Влияние плотности родительских особей на динамику популяции рыб.....	34
Тема 9. Оценка состояния видовой структуры сообщества рыб .....	36
Тема 10. Типы взаимодействия видов рыб в среде живых организмов.....	39
Тема 11. Биотический баланс водоема .....	42
Тема 12. Экологические пирамиды водоема.....	44
Тема 13. Основные биомы Земли и их особенности .....	47
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....	57

**Экология рыб** : методические указания по изучению дисциплины /  
*М. М. Усов, О. В. Усова*. – Горки : БГСХА, 2024. – 58 с.

Приведены методические указания по изучению учебной дисциплины «Экология рыб». Методические указания подготовлены в соответствии с учебной программой для высших учебных заведений по данной специальности.

Для студентов, обучающихся по специальности 6-05-0831-01 Водные биоресурсы и аквакультура.

© УО «Белорусская государственная  
сельскохозяйственная академия», 2024

## Т е м а 1. ИЗУЧЕНИЕ ПРИНЦИПОВ СТРОЕНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ

**Цель работы:** изучить принципы строения экосистемы.

**Материалы и оборудование:** мультимедийная презентация.

**Задание:**

- 1) изучите теоретический материал;
- 2) зарисуйте рисунки и схемы;
- 3) ответьте на контрольные вопросы.

Живые организмы и их неживое (абиотическое) окружение неразделимо связаны друг с другом и находятся в постоянном взаимодействии, образуя экосистему.

**Экосистема** – это совокупность всех живых организмов, проживающих на общей территории, вместе с окружающей их неживой средой.

В экосистему входят и организмы, и неживая среда – компоненты, взаимно влияющие на свойства друг друга и необходимые для поддержания жизни в той ее форме, которая существует на Земле.

В каждой наземной экосистеме есть абиотический компонент – **биотоп** (от греч. *topos* – место), представляющий собой участок с одинаковыми ландшафтными, климатическими, почвенными условиями, и биотический компонент – **биоценоз** (от греч. *koinos* – общий), являющийся совокупностью всех живых организмов, населяющих данный биотоп (рис. 1). Биотоп – общее местообитание для всех членов сообщества.

Биоценозы состоят из представителей многих видов растений, животных и микроорганизмов. Практически каждый вид в биоценозе представлен многими особями разного пола и возраста. Они образуют **популяцию** (или часть популяции) данного вида в экосистеме. Биоценоз очень трудно рассматривать отдельно от биотопа, поэтому вводят такое понятие, как биогеоценоз (биотоп + биоценоз).

**Биогеоценоз** – участок земной поверхности, где на известном протяжении биоценоз и отвечающие ему части атмосферы, литосферы, гидросферы остаются однородными и имеют одинаковый характер взаимодействия между ними.

Признаки экосистем:

- 1) независимость от внешних источников вещества и энергии, но не от солнечного света. Энергия – это способность совершать работу;
- 2) способность обеспечивать круговорот вещества.

Как большие, так и малые экосистемы обычно не имеют четких

границ. Переходная зона между двумя смежными экосистемами называется **эктоном**. Эктон включает в себя представителей обеих смежных экосистем, а также нередко виды живых организмов, которые не встречаются в данных экосистемах. В результате эктон обладает бóльшим разнообразием организмов, чем близлежащие территории.



Рис. 1. Структура биогеоценоза

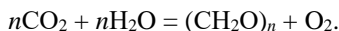
Все живые организмы по типу питания делятся на две большие группы – **автотрофы** и **гетеротрофы**. Функционально биотические компоненты можно разделить на три группы.

**Первая группа организмов** – продуценты (от лат. *producens* – создающий, производящий), или автотрофные организмы (от лат. *auto* – сам, *trophe* – пища, т. е. сам являющийся пищей).

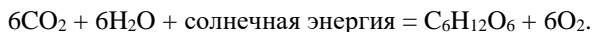
Продуценты, или автотрофы, – это такие организмы, которые в качестве питательного материала используют простые неорганические вещества: воду, углекислый газ, нитраты, фосфаты и др. В качестве энергетического материала продуценты используют либо солнечный свет, либо энергию химических реакций. Они подразделяются на фото- и хемоавтотрофов.

**Фотоавтотрофы** используют в качестве источника энергии солнечный свет, а в качестве питательного материала – в основном угле-

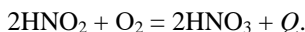
кислый газ и воду. К этой группе организмов относятся все фотосинтезирующие организмы: зеленые растения и некоторые бактерии. В процессе жизнедеятельности они синтезируют на свету органические вещества – углеводы, или сахара  $(\text{CH}_2\text{O})_n$ , которыми питаются животные:



**Фотосинтез** (от греч. *photos* – свет, *synthesis* – соединение, составление) – синтез клетками растений, водорослей и некоторых бактерий органических веществ из неорганических ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{NH}_3$ ,  $\text{PO}_4^{3-}$ ) при участии энергии солнечного света. В качестве побочного продукта выделяется кислород.



**Хемоавтотрофы** используют энергию, выделяющуюся при химических реакциях. К этой группе принадлежат, например, нитрифицирующие бактерии, окисляющие аммиак до азотистой и затем азотной кислоты:



Химическая энергия ( $Q$ ), выделенная при этих реакциях, используется бактериями для синтеза органических веществ.

Главная роль в создании органических веществ принадлежит зеленым растительным организмам. Роль хемосинтезирующих бактерий в этом процессе относительно невелика. Каждый год фотосинтезирующими организмами на Земле создается около 150 млрд. т органического вещества, аккумулирующего солнечную энергию.

**Вторая группа организмов** – консументы (от лат. *consume* – потреблять), или гетеротрофные организмы (от греч. *heteros* – другой, *trophe* – пища, т. е. питающийся другими).

Консументы, или гетеротрофы, используют в качестве источника энергии и питательного материала готовое органическое вещество. Консументы осуществляют процесс разложения органических веществ. Их делят на фаготрофов (от греч. *phagos* – пожирающий) и сапротрофов (от греч. *sapros* – гнилой).

**Фаготрофы** питаются непосредственно растительными или животными организмами. К ним относятся в основном крупные животные – макроконсументы.

**Сапротрофы** используют для питания органические вещества мертвых остатков. К этой группе относятся как мелкие организмы (муравьи, черви и др.), так и крупные животные (гиены, шакалы, вороны и др.).

В зависимости от источников питания фаготрофы подразделяются на три основных класса:

- *фитофаги (растительноядные)* – консументы первого порядка, питающиеся исключительно растениями. Например, белый амур, белый толстолобик, пестрый толстолобик;

- *хищники (плотоядные)* – консументы второго порядка, которые питаются исключительно растительноядными животными (фитофагами), а также консументы третьего порядка, питающиеся только плотоядными животными. Например, щука (*Esox lucius*), судак (*Stizostedion lucioperca*), сом (*Silurus glanis*), окунь (*Perca fluviatilis*), налим (*Lota lota*);

- *эврифаги (всеядные)* – могут поедать как растительную, так и животную пищу. Например, карп, или сазан (*Cyprinus carpio*), голавль (*Squalius cephalus*), язь (*Leuciscus idus*), плотва (*Rutilus rutilus*), линь (*Tinca tinca*).

**Третья группа организмов** – редуценты (от лат. *reductio* – восстановление), или деструкторы (от лат. *destructio* – разрушение) (рис. 2).



Рис. 2. Биотические компоненты экосистемы

Редуценты, или деструкторы, – это консументы, участвующие в последней стадии разрушения, т. е. в минерализации органических веществ, которые они восстанавливают до неорганических соединений ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$  и др.). Редуценты очищают природную среду от отходов, они возвращают вещества в круговорот, превращая их в формы, доступные для продуцентов. Таким образом жизненный цикл возобновляется.

К редуцентам относятся главным образом микроскопические организмы (бактерии, грибы и др.) – микроконсументы. Их выделяют в отдельную группу потому, что роль редуцентов в круговороте веществ чрезвычайно велика. Без них в биосфере накапливались бы груды органических остатков, иссякли бы запасы минеральных веществ, необходимых продуцентам, и жизнь в той форме, которую мы знаем, прекратилась бы.

Поскольку организмы достаточно разнообразны по видам и формам питания, то они вступают между собой в сложные трофические (пищевые) взаимодействия. Одни из них производят продукцию, другие потребляют, третьи преобразуют ее в неорганическую форму. Таким образом образуется цепь последовательной передачи вещества от одних организмов к другим, которая называется **трофической цепью**.

### **Контрольные вопросы**

1. Перечислите признаки экосистемы.
2. Определите, какие организмы относят к биотическим элементам экосистемы, дайте им краткую характеристику.

## **Т е м а 2. ИЗУЧЕНИЕ ПИЩЕВЫХ ЦЕПЕЙ И ТРОФИЧЕСКИХ УРОВНЕЙ**

**Цель работы:** изучить пищевые цепи водоемов и трофические уровни.

**Материалы и оборудование:** мультимедийная презентация.

**Задание:**

- 1) изучите теоретический материал;
- 2) ответьте на контрольные вопросы.

Перенос энергии пищи от ее источника – автотрофов (растений) – через ряд организмов, происходящий путем поедания одних организмов другими, называется **пищевой цепью**. При каждом переносе

большая часть (80–90 %) потенциальной энергии теряется, переходя в тепло. Поэтому чем короче пищевая цепь (чем ближе организм к ее началу), тем больше энергии, доступной для популяции.

Пищевые цепи можно разделить на два основных типа:

- **пастбищная цепь**, которая начинается с зеленого растения и идет далее к растительоядным животным (т. е. к организмам, поедающим живые растительные клетки или ткани) и к хищникам (организмам, поедающим животных);

- **детритная цепь**, которая от мертвого органического вещества идет к микроорганизмам, а затем к детритофагам и к их хищникам. Пищевые цепи не изолированы одна от другой, а тесно переплетаются друг с другом, образуя так называемые пищевые сети.

В сложных природных сообществах организмы, получающие свою энергию от солнца через одинаковое число ступеней, считаются принадлежащими к одному трофическому уровню. Так, зеленые растения занимают первый трофический уровень (уровень продуцентов), травоядные – второй (уровень первичных консументов), первичные хищники, поедающие травоядных, – третий (уровень вторичных консументов), а вторичные хищники – четвертый (уровень третичных консументов).

Пищевые цепи знакомы каждому из нас: человек съедает крупную рыбу, а она ест мелких рыб, поедающих зоопланктон, который питается фитопланктоном, улавливающим солнечную энергию.

При каждом переносе пищи часть потенциальной энергии теряется. Прежде всего, растения фиксируют лишь малую долю поступающей энергии солнечного излучения. Поэтому число консументов, которые могут прожить при данном выходе первичной продукции, сильно зависит от длины цепи, переход к каждому следующему звену пищевой цепи уменьшает доступную энергию примерно на порядок величины (т. е. в 10 раз). Поэтому если увеличивается биомасса хищных организмов, то уменьшается их число, так как на основе имеющейся первичной продукции они будут ограничены той энергией, которая перейдет на более высокий трофический уровень.

Некоторые вещества по мере продвижения по цепи не рассеиваются, а, наоборот, накапливаются. Это так называемое концентрирование в пищевой цепи (биоцентрирование) нагляднее всего демонстрируют устойчивые радионуклиды и пестициды.

Трофический уровень – это совокупность организмов, занимающих определенное место в пищевой сети.

Первый трофический уровень – всегда растения,  
второй трофический уровень – первичные консументы,  
третий трофический уровень – вторичные консументы и т. д.  
(рис. 3).

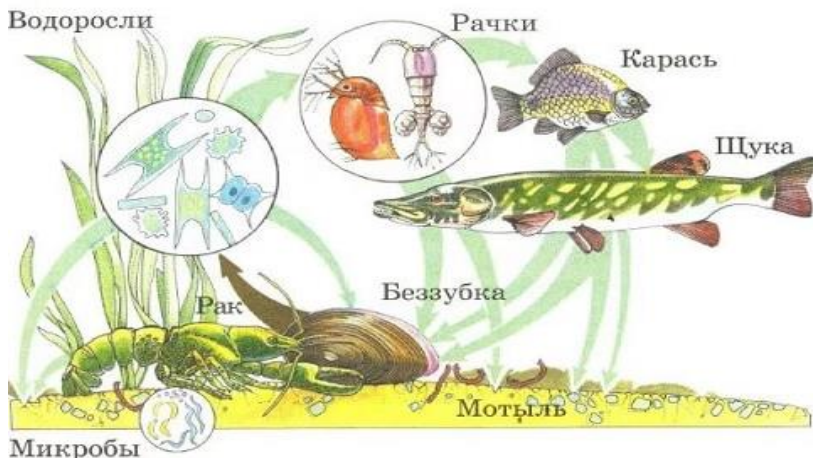


Рис. 3. Представители различных трофических уровней в водоеме

Детритофаги могут находиться на 2-м и выше трофическом уровне. Обычно в экосистеме насчитывается 3–4 трофических уровня.

Трофическую структуру можно измерить и выразить либо урожаем на корню (на единицу площади), либо количеством энергии, фиксируемой на единице площади за единицу времени на последовательных трофических уровнях.

Трофическую структуру и трофическую функцию можно изобразить графически в виде экологических пирамид, основанием которых служит первый уровень (уровень продуцентов), а последующие уровни образуют этажи и вершину пирамиды.

Экологические пирамиды можно отнести к трем основным типам:

- 1) пирамида чисел, отражающая численность отдельных организмов;
- 2) пирамида биомассы, характеризующая общую сухую массу, калорийность или другую меру общего количества живого вещества;
- 3) пирамида энергии, показывающая величину потока энергии и «продуктивность» на последовательных трофических уровнях.

С каждым переходом с одного трофического уровня на другой в пределах пищевой цепи или сети совершается работа и в окружающую среду выделяется тепловая энергия, а количество энергии высокого качества, используемой организмами следующего трофического уровня, снижается. Процентное содержание энергии высокого качества, переходящей с одного трофического уровня на другой, колеблется от 2 до 30 %. Большая часть энергии теряется в окружающей среде как тепловая энергия низкого качества. Чем длиннее пищевая цепь, тем больше теряется полезной энергии.

**Пирамиды чисел.** Можно собрать все образцы организмов в экосистеме и подсчитать численность всех видов, обнаруженных на каждом трофическом уровне. Такая информация необходима для создания пирамиды чисел. Например, 1 000 000 особей фитопланктона в небольшом пруду может прокормить 10 000 особей зоопланктона, которые, в свою очередь, прокормят 100 окуней, которых будет достаточно, чтобы прокормиться 1 человеку в течение месяца.

Но для некоторых экосистем пирамиды чисел имеют другую форму.

**Пирамида биомассы** характеризует массу живого вещества (на единицу площади или объема). Каждый трофический уровень пищевой цепи или сети содержит определенное количество биомассы. В наземных экосистемах действует следующее **правило пирамиды биомассы**: суммарная масса растений превышает массу всех травоядных, а их масса превышает всю биомассу хищников.

Для океана правило пирамиды биомасс недействительно, так как пирамида имеет *перевернутый (обращенный) вид*. Для экосистемы океана характерно накопление биомассы на высоких уровнях – у хищников. Хищники живут долго, и скорость оборота их регенерации мала, но у продуцентов – фитопланктонных водорослей – оборачиваемость в сотни раз превышает запас биомассы.

Пирамиды чисел и биомассы могут быть обращенными (или частично обращенными), т. е. основание может быть меньше, чем один или несколько верхних этажей. Так бывает, когда средние размеры продуцентов меньше размеров консументов. Напротив, энергетическая пирамида всегда будет сужаться кверху при условии, что будут учтены все источники пищевой энергии в системе.

## Контрольные вопросы

1. Что такое пищевая цепь?

2. Назовите типы пищевых цепей.
3. Что представляет собой трофический уровень?
4. Какие организмы занимают тот или иной трофический уровень?
5. Приведите пример пирамиды чисел из области аквакультуры.

### **Т е м а 3. ИЗУЧЕНИЕ ЭНЕРГЕТИКИ И ПРОДУКЦИИ ЭКОСИСТЕМ**

**Цель работы:** изучить энергетику и продукцию экосистем.

**Материалы и оборудование:** мультимедийная презентация.

**Задание:**

- 1) изучите теоретический материал;
- 2) зарисуйте рисунки и схемы;
- 3) ответьте на контрольные вопросы.

Основным (и практически единственным) источником энергии в экосистеме является солнечный свет.

Поток энергии направлен в одну сторону, часть поступающей солнечной энергии преобразуется сообществом и переходит на качественно более новую ступень, трансформируясь в органическое вещество, представляющее собой более концентрированную форму энергии, чем солнечный свет, но большая часть энергии деградирует, проходит через систему и покидает ее в виде низкокачественной тепловой энергии (тепловой сток). Следует отметить, что только незначительная часть поступающей на поверхность земли энергии усваивается автотрофными организмами, большая часть (до 98 %) рассеивается в виде тепловой энергии.

Энергия может накапливаться, затем снова высвобождаться или экспортироваться, но ее нельзя использовать вторично. В отличие от энергии, элементы питания, в том числе биогенные элементы, необходимые для жизни (углерод, азот, фосфор и т. д.), и вода могут использоваться многократно. Эффективность повторного использования и размеры импорта и экспорта элементов питания значительно варьируются в зависимости от типа экосистемы.

Схема потоков веществ и энергии в экосистеме представлена на рис. 4.

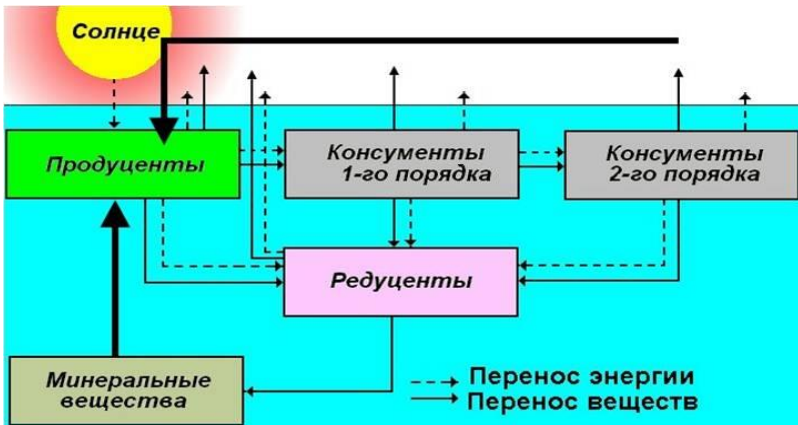


Рис. 4. Поток энергии и вещества в экосистеме

Трофическая цепь в биогеоценозе есть одновременно цепь энергетическая, т. е. представляет собой последовательный упорядоченный поток передачи энергии солнца от продуцентов ко всем остальным звеньям (рис. 5).

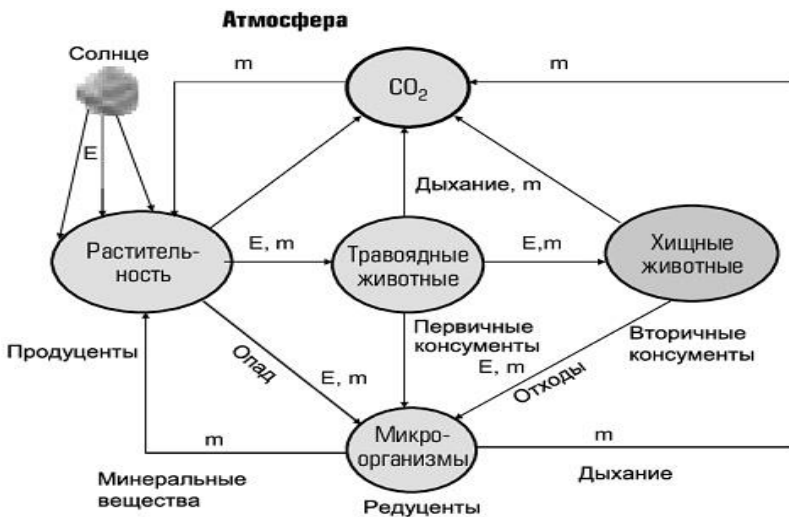


Рис. 5. Схема распределения энергии в экосистеме

Организмы-потребители (консументы), питаясь органическим веществом продуцентов, получают от них энергию, частично идущую на построение собственного органического вещества и связывающуюся в молекулах соответствующих химических соединений, а частично расходуемую на дыхание, теплоотдачу, выполнение движений в процессе поиска пищи, ускользания от врагов и т. п.

Таким образом, в экосистеме имеет место непрерывный поток энергии, заключающийся в передаче ее от одного пищевого уровня к другому. В силу второго закона термодинамики этот процесс связан с рассеиванием энергии в каждом последующем звене, т. е. с ее потерями и возрастанием энтропии. Очевидно, что это рассеивание все время компенсируется поступлением энергии от солнца.

В процессе жизнедеятельности сообщества создается и расходуется органическое вещество. Это значит, что каждая экологическая система обладает определенной продуктивностью.

**Продуктивность экологической системы** – это скорость, с которой продуценты усваивают лучистую энергию в процессе фотосинтеза и хемосинтеза, образуя органическое вещество, которое может быть использовано в качестве пищи.

Различают разные уровни продуцирования органического вещества: *первичная продукция*, создаваемая продуцентами в единицу времени, и *вторичная продукция* – прирост за единицу времени массы консументов. Первичная продукция подразделяется на валовую и чистую. *Валовая первичная продукция* – это общая масса валового органического вещества, создаваемая растением в единицу времени при данной скорости фотосинтеза, включая и траты растения на дыхание – от 40 до 70 % от валовой продукции. Та часть валовой продукции, которая не израсходована на дыхание, называется *чистой первичной продукцией*, 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, ранее созданной продукции.

Все живые компоненты экосистемы составляют общую биомассу сообщества в целом или тех или иных групп организмов. Ее выражают в граммах на кубический сантиметр в сыром или сухом виде или в энергетических единицах – калориях, джоулях и т. п. Если скорость изъятия биомассы консументами отстает от скорости прироста растений, то это ведет к постепенному приросту биомассы продуцентов и к

избытку мертвого органического вещества. Последнее приводит к за торфовыванию болот и зарастанию мелких водоемов. В стабильных сообществах практически вся продукция тратится в трофических сетях и биомасса остается практически постоянной.

### **Контрольные вопросы**

1. Назовите источники энергии для экосистем.
2. Опишите схему потоков вещества и энергии в экосистеме.
3. Какие уровни продуцирования органического вещества различают в экосистемах?

## **Т е м а 4. ИЗУЧЕНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В ЭКОСИСТЕМЕ**

**Цель работы:** изучить динамические процессы в экосистемах.

**Материалы и оборудование:** мультимедийная презентация.

**Задание:**

- 1) изучите теоретический материал;
- 2) зарисуйте рисунки и схемы;
- 3) ответьте на контрольные вопросы.

Экологическая система не является абсолютно стабильным, застывшим образованием. В ней постоянно осуществляются жизненные процессы, связанные с переходом вещества и энергии с одних пищевых уровней на другие, с изменением численности и плотности популяций в результате взаимодействия хищников с жертвами, а жертв с источниками их корма.

Вместе с тем общеизвестно, что подвижность экосистемы также относительна: экосистемы морей и океанов существуют длительное время (сотни лет) и, на первый взгляд, стабильны, устойчивы, неподвижны. За короткий отрезок времени в них трудно обнаружить значительные изменения в составе биоты или в режимах абиотических факторов, хотя в отдельных случаях массовые размножения некоторых видов животных существенно трансформируют экосистему на тот или иной отрезок времени, а иногда служат толчком к ее замене на другую. Таким образом, мы сталкиваемся с тем фактом, что экосистемы, с одной стороны, действительно стабильны, а с другой – подвижны, динамичны во времени и пространстве. Очевидно, что если бы экосистемы существовали в течение короткого времени, быстро заменяясь други-

ми, то накопление питательных веществ и стабильное развитие и размножение животных было бы невозможно. Подвижно-стабильное состояние биогеоценозов (экосистем) во времени и пространстве представляет собой результат двух процессов: гомеостаза и сукцессии.

Важнейшим свойством биогеоценоза (экосистемы) является его устойчивость, сбалансированность происходящих в нем процессов обмена веществом и энергией между всеми компонентами, вследствие чего биогеоценозу свойственно состояние так называемого **подвижно-го равновесия, или гомеостаза** (от греч. *homos* – тот же, подобный и *stasis* – состояние).

Рассмотрим условную экосистему, состоящую из популяций двух видов: щуки и карася (рис. 6). В этой системе, где щука поедает карася, последний, на языке биологии, является жертвой, в то время как щука есть хищник. Если численность жертвы постоянно растет, то хищник, который только этой жертвой и питается, тоже имеет возможность увеличить свою численность (или в соответствии с рассмотренными выше понятиями – увеличить объем и совершенствовать структуру популяции). В этом проявляется положительная обратная связь.

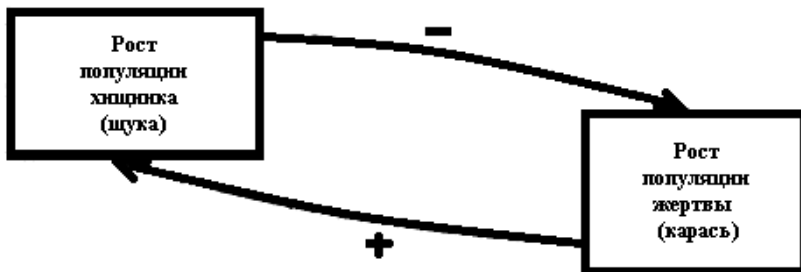


Рис. 6. Пример действия механизма обратной связи

Но поскольку щука (хищник) ест карася, то она, естественно, снижает численность его популяции. В этом проявляется отрицательная обратная связь. Если численность щуки выше некоторого предела, то она соответственно снизит численность карася и в итоге окажется перед необходимостью ограничения собственной численности из-за недостатка пищи, связанного с затрудненностью ее добычи.

В естественной экологической системе все время поддерживается равновесие, исключающее необратимое уничтожение тех или иных

звеньев в трофических цепях. Численность и щуки, и карася всегда будет держаться на определенном уровне. Это является следствием длительного эволюционного процесса, который Дарвин назвал естественным отбором. Любая экосистема всегда сбалансирована, устойчива (гомеостатична).

Приведенный на рисунке пример можно дополнить введением в схему абиотической компоненты среды, факторы которой, с одной стороны, независимо воздействуют на все звенья пищевых цепей. В основе всех рассмотренных выше ситуаций лежит известный физико-химический принцип (закон) Ле Шателье (1884): *изменение внешних условий (температуры, давления) физико-химической равновесной системы вызывает в ней реакции, противодействующие производимому изменению.*

Стабильное состояние экосистемы, ее гомеостаз не есть нечто застывшее, неподвижное. Гомеостаз – это, в сущности, подвижное равновесие, и в любой экологической системе идут процессы, меняющие ее во времени и пространстве. При этом изменяется состав биоты, структура экосистемы и ее продуктивность.

Процессы, которые мы только что рассмотрели, представляют собой, как мы уже знаем, обмен веществом и энергией между отдельными элементами экосистемы, т. е. обмен информацией. Передача информации от одного звена к другому осуществляется по определенным каналам, в данном случае – по каналам обратной связи.

При некоторых условиях обратная связь, т. е. передача информации, может быть почему-либо нарушена. Например, щуку начали интенсивно вылавливать рыбаки или среди щук возникла инфекционная болезнь. При этом происходит нарушение сбалансированности системы, которое может быть обратимым или необратимым.

Роль помех могут играть и абиотические факторы, например погодные условия. Воздействия таких помех на популяцию носят статистический, т. е. случайный, избирательный характер. Те особи, для которых помехи оказались непреодолимыми, погибли или не дадут потомства, а более стойкие выживут, передав наследственную информацию своим потомкам. Происходит естественный отбор под влиянием помех; эти помехи являются, таким образом, положительными, полезными и выступают как фактор эволюции.

Человек в силу необходимости постоянно вмешивается в процессы, происходящие в экосистеме, влияя на нее в целом или на отдельные ее звенья. Эти воздействия могут проявляться в виде введения в эко-

систему новых компонентов. Не всегда такие воздействия ведут к распаду всей системы, к нарушению ее стабильности, однако давление помех не может быть беспредельным. При определенном уровне стрессового фактора информационная обеспеченность экосистемы не может за счет отрицательной обратной связи компенсировать отклонений, определяемых положительной обратной связью. Тогда данная система прекратит свое существование.

Ту область, в пределах которой механизмы отрицательной обратной связи способны, несмотря на стрессовые воздействия, сохранить устойчивость системы, хотя и в измененном виде, называют *гомеостатическим плато* (рис. 7).

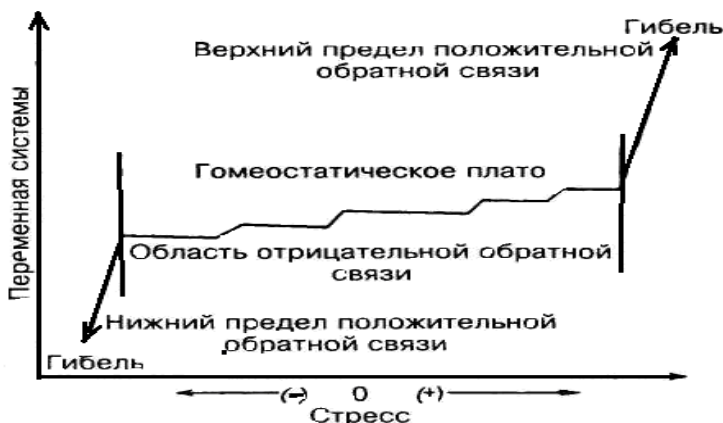


Рис. 7. Схема формирования гомеостатического плато в экосистеме, в пределах которого посредством отрицательной обратной связи поддерживается относительная стабильность системы при воздействиях, вызывающих нарушение сбалансированности

Воздействия, при которых компенсаторные регуляторы оказываются не в силах сохранить гомеостатичность системы, наблюдаются, как правило, при резких антропогенных или естественных воздействиях на структурно упрощенные искусственные системы.

Последовательная смена биоценозов, преемственно возникающих на одной и той же территории в результате влияния природных факторов (в том числе внутренних противоречий развития самих биоценозов) или воздействия человека, называется **сукцессией** (от лат. *successio* – преемственность, наследование).

Данная смена происходит в силу действия экологического принципа (закона) сукцессионного замещения. Природные биотические сообщества последовательно формируют закономерный ряд экосистем, ведущий к наиболее устойчивому в данных условиях состоянию климакса. Сукцессия – постепенный процесс изменения структуры и состава биоценоза.

Экологическая сукцессия происходит в определенный отрезок времени, в который изменяется видовая структура сообщества и абиотическая среда существования его вплоть до кульминации его развития – возникновения стабилизированной системы. Такую стабилизированную экосистему называют **климаксом**. В этом состоянии система находится тогда, когда в ней на единицу энергии приходится максимальная биомасса и максимальное количество симбиотических связей между организмами. Однако до достижения данного состояния система проходит ряд стадий развития, первую из которых часто называют стадией первых поселенцев. Поэтому в более узком смысле сукцессия – это последовательность сообществ, сменяющих друг друга в данном районе.

Для возникновения сукцессии необходимо свободное пространство. В зависимости от первоначального состояния субстрата различают первичную и вторичную сукцессии.

**Первичная сукцессия** представляет собой процесс формирования и развития сообществ на первоначально свободном субстрате, а **вторичная сукцессия** – это последовательная смена одного сообщества, существовавшего на данном субстрате, другим, более совершенным для данных абиотических условий.

Первичная сукцессия позволяет проследить формирование сообществ с самого начала. Первыми, как правило, на свободное пространство начинают внедряться растения посредством перенесенных потоком воды спор и семян либо за счет вегетативных органов оставшихся по соседству растений.

Вторичная сукцессия является, как правило, следствием деятельности человека (рис. 8).



Рис. 8. Схема сукцессии в водной экосистеме

Вторичная, антропогенная, сукцессия проявляется также и в эвтрофикации. Бурное цветение водоемов, особенно искусственных водохранилищ, есть результат обогащения их биогенами, обусловленный деятельностью человека. Пусковым механизмом процесса обычно является обильное поступление фосфора, реже – азота, иногда – углерода и кремния. Ключевую роль обычно играет фосфор. При поступлении биогенов резко возрастает продуктивность водоемов за счет роста численности и биомассы водорослей, прежде всего синезеленых. Многие из них могут фиксировать молекулярный азот из атмосферы, тем самым снижая лимитирующее действие азота, а некоторые способны освобождать фосфор из продуктов метаболизма различных водорослей. Обладая этим и рядом других подобных качеств, они захватывают водоем и доминируют в биоценозе. Биоценоз практически полностью перерождается. Наблюдаются массовые заморы рыб. В особо тяжелых случаях вода приобретает цвет и консистенцию горохового супа, неприятный гнилостный запах: жизнь аэробных организмов исключена.

### Контрольные вопросы

1. Что является важнейшим свойством биогеоценоза (экосистемы)?
2. Приведите пример положительной обратной связи из области аквакультуры.
3. Поясните принцип (закон) Ле Шателье.
4. Объясните, что такое сукцессия, охарактеризуйте ее типы.

## Т е м а 5. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЕСТЕСТВЕННОЙ КОРМОВОЙ БАЗЫ ПРУДОВ

**Цель работы:** изучить методики определения естественной кормовой базы прудов.

**Материалы и оборудование:** дночерпатель Экмана – Берджа, планктонная сетка, мерная посуда вместимостью 1 л (лучше ковшик на 1 л с ручкой), ведро, кюветы белые, эмалированные или пластмассовые, мешок-промывалка для бентоса из газа, мерные цилиндры вместимостью 0,5 л, мерные стаканы, пинцеты, чашки Петри, склянки вместимостью 50–100 и 100–200 мл, препаровальные иглы, штемпель-пипетки, счетные пластинки, камеры Богорова, бумага пергаментная для этикеток, простые карандаши, микроскопы, лупы, торсионные весы, мультимедийная презентация.

### **Задание:**

- 1) с помощью экспресс-метода ориентировочно определите биомассу фитопланктона и доминирующие группы водорослей в пруду;
- 2) определите биомассу организмов и состав зоопланктона в пруду;
- 3) определите биомассу и доминирующие группы организмов бентоса в пруду;
- 4) дайте оценку полученным результатам.

**Общая характеристика.** Естественная пища должна быть неотъемлемой частью рациона рыб, что обязывает специалистов вести постоянные наблюдения за развитием естественной кормовой базы, так как от ее величины зависит усвоение искусственных кормов. При снижении количественного развития гидробионтов необходимо принимать экстренные меры по его увеличению. Интенсивное кормление карпа искусственными кормами, которые в большинстве случаев являются неполноценными по аминокислотному составу, содержанию витаминов, приводит к нарушению обмена веществ и замедлению темпа роста рыбы.

Разные виды водных организмов имеют разную пищевую ценность, однако содержат необходимые питательные вещества – белки, жиры, углеводы, витамины и минеральные соли. Белки кормовых беспозвоночных животных являются полноценными по составу аминокислот, что является важным для роста и развития рыб. Наиболее полноценными пищевыми организмами являются ветвистоусые рачки (*Cladocera*), и прежде всего дафнии (*Daphniidae*). Они богаты минеральными солями, витаминами, незаменимыми аминокислотами. Аминокислот-

ный состав белков тела олигохет (*Oligochaeta*) также полноценный, однако эти животные содержат меньше витаминов по сравнению с дафниями и очень бедны минеральными соединениями. Личинки хирономид (*Chironomidae*) по содержанию витаминов и минеральных солей занимают промежуточное положение между дафниями и олигохетами, аминокислотный состав их белков полноценный. По пищевой ценности кормовые беспозвоночные являются незаменимыми в питании рыб.

При выращивании разновозрастных рыб важно знать, какие организмы являются преобладающими в том или ином пруду. Для личинок в первые дни жизни предпочтительнее массовое развитие босмин (*Bosminidae*), коловраток (*Rotatoria*), личинок веслоногих рачков – науплиусов (*Sopropoda*). Их количество более 1 000 экз/л свидетельствует о хорошей обеспеченности пищевых потребностей личинок. Если в первые дни развития личинок в планктоне прудов в значительном количестве представлены циклопы (*Cyclops*), лептестерии (*Leptestheria*), стрептоцефалюсы (*Streptocephalus*), щитни (*Lepidurus arus*), то возможны значительные потери личинок в результате выедания их перечисленными хищниками. Молодь карпа более 1 г способна потреблять не только планктонные, но и бентосные организмы. Зная потребности молоди в корме и состояние естественной кормовой базы, важно не опоздать с началом кормления искусственными кормовыми смесями, чтобы избежать снижения роста рыб.

Установлено, что для рыб массой более 10–20 г количество естественной пищи в пищевом комке должно быть не менее 25–30 %. Для этого среднесезонная биомасса фитопланктона должна быть не менее 30 мг/дм<sup>3</sup>, зоопланктона – не менее 8–12 г/м<sup>3</sup>, зообентоса – 3–5 г/м<sup>2</sup>. При этом пруды считаются более продуктивными, если в фитопланктоне преобладают зеленые (протококковые) водоросли, в зоопланктоне – ветвистоусые или веслоногие ракообразные, а в зообентосе – личинки хирономид.

Гидробиологические пробы (фитопланктон, зоопланктон и зообентос) отбирают одновременно через каждые 10 дней (в период выращивания молоди до массы 5 г пробы зоопланктона отбирают через 5 дней) в разных точках пруда на протяжении всего периода выращивания рыбы. Фиксацию проб проводят 40%-ным формалином из расчета 50–100 мл 40%-ного формалина на 1 л воды. Пробу снабжают этикеткой, в которой указывают хозяйство, название и номер пруда, его глубину, время и дату взятия пробы, количество профильтрован-

ных литров воды (для зоопланктона) или количество отобранных дночерпателей с указанием площади их захватов (для зообентоса). При использовании экспресс-методов определения количественного развития фито- и зоопланктона необходимо иметь в виду, что они свободны от погрешностей и, как правило, дают несколько завышенные данные, так как вода включает разного рода примеси, попадающие при отборе проб, однако для контроля непосредственно в прудах вполне применимы.

**Экспресс-метод сбора и обработки проб фитопланктона.** Воду отбирают из разных мест пруда на глубине 15–20 см и сливают в ведро. После перемешивания берут пробу объемом 0,5 л, фиксируют формалином, закрывают пробкой, этикетировывают и ставят в темное место на 10–14 сут для отстаивания. По осадку в мерном цилиндре можно ориентировочно вычислить биомассу фитопланктона (рис. 9, 10).

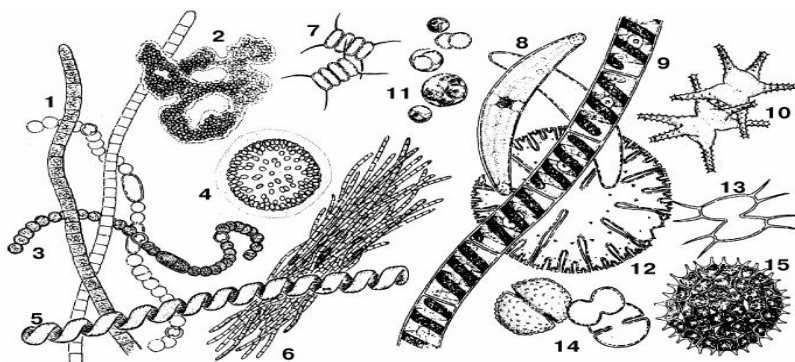


Рис. 9. Синезеленые водоросли: 1 – *Oscillatoria*; 2 – *Microcystis aeruginosa*; 3 – *Anabaena*; 4 – *Coelosphaerium*; 5 – *Spirulina*; 6 – *Aphanizomenon flos-aquae*; зеленые водоросли: 7 – *Scenedesmus*; 8 – *Closterium*; 9 – *Spirogyra*; 10 – *Staurastrum*; 11 – *Chlorella*; 12 – *Micrasterias*; 13 – *Xanthidium*; 14 – *Cosmarium*; 15 – *Pediastrum*

Если часть водорослей оказалась в верхнем слое, их отсчитывают по верхним делениям цилиндра и прибавляют к осадку. Плотность организмов в осадке принимают равной плотности воды. Таким образом можно определить массовое развитие водорослей. Например, если осадок планктона в цилиндре занимает 0,1 см<sup>3</sup> объема, это значит, что в 0,5 л пробы воды содержится 0,1 см<sup>3</sup>, или 0,1 г, фитопланктона, или в пересчете на 1 л – 0,2 г биомассы водорослей, что указывает на их массовое и нежелательное развитие.

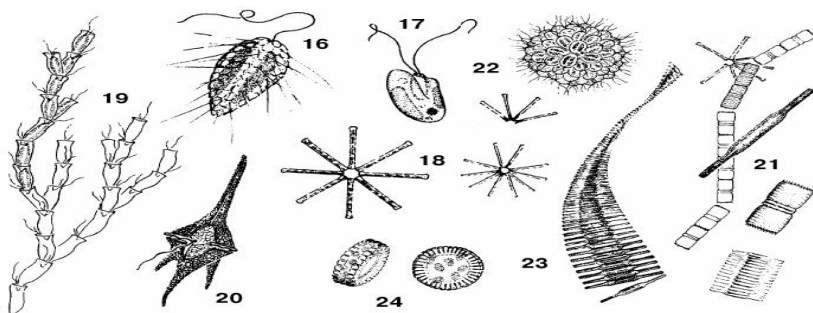


Рис. 10. Диатомовые водоросли: 16 – *Mallomonas*; 17 – *Cryptomonas*; 18 – *Asterionella*; 19 – *Dinobryon*; 20 – *Ceratium hirundinella*; 21 – *Melosira*; 22 – *Synura*; 23 – *Fragilaria*; 24 – *Cyclotella*

Под микроскопом определяют доминирующие группы водорослей (в прудовых условиях это в основном синезеленые или зеленые водоросли), что важно для выяснения характера цветения воды (если оно наблюдается).

**Сбор и обработка проб зоопланктона.** Пробы зоопланктона отбирают мерной посудой (лучше ковшиком на 1 л с ручкой). Для этого зачерпывают воду с глубины 40–50 см и с поверхности попеременно. Станции, на которых проводят забор воды, должны быть распределены равномерно по всей площади пруда. Процеживают 100 или 50 л воды (при очень интенсивном развитии организмов зоопланктона) через планктонную сетку из густого капронового сита № 64–68. Отфильтрованный через планктонную сетку осадок с содержащимся в нем зоопланктоном, собранный в отстойном стакане сетки, с помощью краника сливают в склянки вместимостью 100–200 мл. Для более полного сбора всего планктона сетку тщательно обмывают с наружной стороны водой или погружают ее в воду, не переливая через край. Пробу фиксируют и снабжают этикеткой. Дальнейшую обработку проводят в лаборатории следующим образом: для упрощения расчетов пробу доводят до определенного объема (100 мл), затем хорошо перемешивают ее, берут шпатель-пипеткой 0,5 мл содержимого и помещают на счетное стекло для просмотра под микроскопом. Определяют видовой состав, пользуясь определителем, и количество организмов каждого вида. Как правило, для более точного учета просматривают 3 пробы, отобранные шпатель-пипеткой из одной склянки. Количество организмов в 1 м<sup>3</sup> воды определяют по формуле

$$X = K \cdot V \cdot 1\,000 / Z \cdot n,$$

где  $X$  – количество организмов данного вида в  $1\text{ м}^3$  воды, экз.;

$K$  – среднее количество организмов из трех просмотров содержимого штемпель-пипетки, экз.;

$V$  – объем просмотренной пробы, мл;

1 000 – пересчетный коэффициент на  $1\text{ м}^3$ ;

$Z$  – объем штемпель-пипетки, мл;

$n$  – количество литров профильтрованной воды.

**Пример.** В объеме штемпель-пипетки, равном 0,5 мл, среднее из трех подсчетов количество дафний лонгиспина равно 150 экз.; объем просмотренной пробы – 100 мл; количество профильтрованной воды – 100 л. Тогда количество организмов в  $1\text{ м}^3$  составит:

$$X = 150 \cdot 100 \cdot 1\,000 / 0,5 \cdot 100 = 300\,000 \text{ экз.}$$

Биомассу определяют отдельно по видам и группам организмов: ветвистоусые ракообразные, веслоногие ракообразные, коловратки и др. (рис. 11, 12). Общую биомассу зоопланктона в  $1\text{ м}^3$  воды пруда определяют как сумму биомасс отдельных видов. Для ускорения арифметических расчетов удобно пользоваться специальными программами, разработанными на ЭВМ.

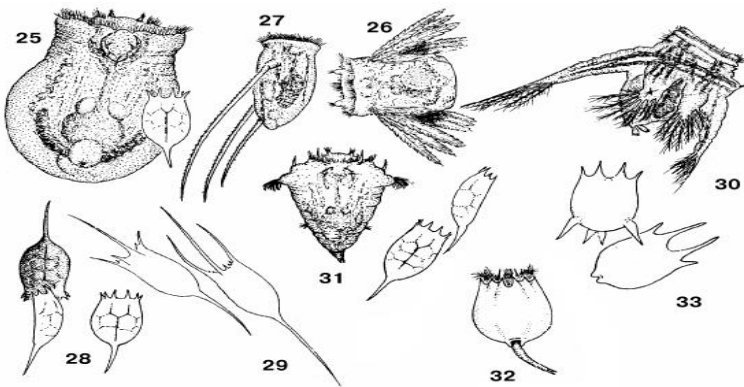


Рис. 11. Коловратки: 25 – *Asplanchna sieboldii*; 26 – *Polyarthra*; 27 – *Filinia*;  
28 – *Keratella cochlearis*; 29 – *Kellicottia*; 30 – *Hexarthra*; 31 – *Synchaeta*;  
32 – *Brachionus plicatilis*; 33 – *Brachionus calyciflorus*

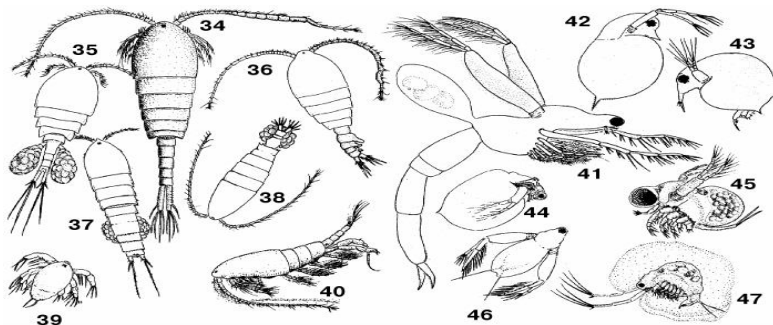


Рис. 12. Веслоногие рачки: 34 – *Limnocalanus macrurus* (самец); 35 – *Eucyclops serrulatus* (самка); 36 – *Epischura lacustris* (самец); 37 – *Canthocamptus* (самка); 38 – *Diaptomus siciloides* (самка); 39 – *Diaptomus siciloides* (личинка); 40 – *Senecella calanoides* (самец); ветвистоусые рачки: 41 – *Leptodora kindtii*; 42 – *Daphnia rosea*; 43 – *Bosmina longirostris*; 44 – *Ceriodaphnia lacustris*; 45 – *Polyphemus pediculus*; 46 – *Diaphanosoma*; 47 – *Holopedium gibberum*

Для расчета биомассы организмов зоопланктона пользуются таблицами средних масс организмов (табл. 1).

Т а б л и ц а 1. Средние массы организмов зоопланктона

Вид	Масса
<b>Коловратки (Rotatoria)</b>	
<i>Asplanchna priodonta</i> Gosse	0,005–0,020
<i>Brachionus angularis</i> Gosse	0,00031–0,00044
<i>B. bakeri</i> Müll.	0,00007
<i>B. calyciflorus</i> Pall.	0,0040–0,0065
<i>Brachionus urceolaris</i> Müll.	0,00053
<i>Lecana luna</i> Müll.	0,00025–0,00090
<i>Synchaeta</i> sp.	0,018
<i>Euchlanis dilatata</i> Ehr.	0,002–0,003
<i>Filimia</i> sp.	0,00020–0,00058
<i>Polyarthra trigla</i> Ehr.	0,00025–0,00095
<i>Keratella cochlearis</i> Gosse	0,00020–0,00033
<i>K. quadrata</i> Müll.	0,00034–0,00081
<i>Notholca</i> sp.	0,0025
<i>Platias quadricornis</i> Ehr.	0,0003
Мелкие коловратки	0,0004
<b>Ветвистоусые ракообразные (Cladocera)</b>	
<i>Daphnia longispina</i> Müll.	0,06
<i>D. pulex</i> De Geer	0,20
<i>D. magna</i> Straus	1,54

Вид	Масса
<i>Ceriodaphnia pulchella</i> Sars	0,019–0,026
<i>Moina rectirostris</i> Leydig	0,113
<i>Bosmina longirostris</i> Müll.	0,0078
<i>Chydorus sphaericus</i> Müll.	0,0125
<i>Leptodora kindtii</i> Focke	0,3
<i>Alona quadrangularis</i> Müll.	0,002
<i>Simocephalus vetulus</i> Müll.	0,425
<i>Diaphanosoma brachyurum</i> Lievin	0,03
<i>Sida crystallina</i> Müll.	0,5
Молодь ветвистоусых	0,001
<b>Веслоногие ракообразные (<i>Copepoda</i>)</b>	
<i>Cyclops</i> sp.	0,008–0,129
<i>Diaptomus</i> sp.	0,007–0,110
<i>Nauplii</i>	0,0008
<i>Copepoditii</i>	0,004
<b>Прочие организмы</b>	
<i>Ostracoda</i>	0,018
<i>Oligochaeta</i>	0,025
<i>Chironomidae larvae</i>	0,03

### Экспресс-методы обработки проб зоопланктона.

1. Полученный после фиксации осадок зоопланктона переливают из склянки в мерный цилиндр и измеряют объем осадка по шкале цилиндра. Чтобы определить, сколько планктона содержится в 1 м<sup>3</sup>, полученный объем осадка умножают на 10, если процеживали 100 л воды, или на 20, если процеживали 50 л.

2. Осадок зоопланктона процеживают через кусочек сита № 70–80, затем подсушивают на фильтровальной бумаге до исчезновения мокрых пятен, переносят вместе с кусочком влажного сита в чашку Петри и взвешивают. Массу чашки Петри вместе с кусочком влажного сита определяют заранее. По разнице масс получают массу зоопланктона. Зная объем профильтрованной через планктонную сетку воды и массу осадка, можно определить биомассу зоопланктона в 1 м<sup>3</sup>.

**Сбор и обработка проб зообентоса.** Пробы зообентоса (рис. 13) отбирают в те же сроки, что и пробы зоопланктона, при этом учитывают характер грунтов, зарослей, глубины пруда.

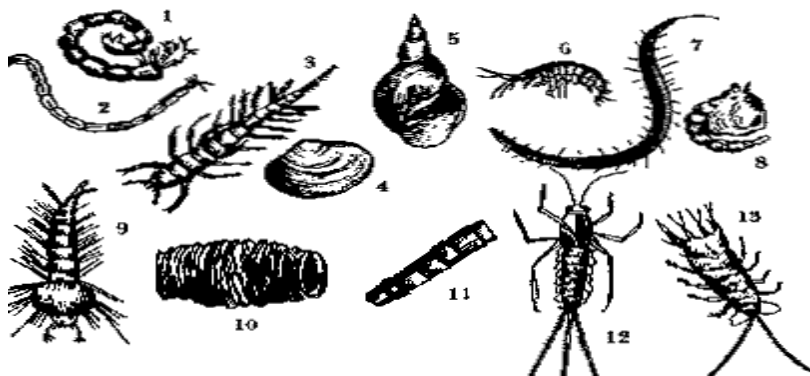


Рис. 13. Донные водные организмы, являющиеся пищей рыб: 1, 2 – личинки хирономид; 3 – личинка вислокрылки; 4 – шаровка; 5 – прудовик; 6 – бокоплав; 7 – малощетинковый червь; 8 – куколка комара; 9 – личинка комара; 10, 11 – ручейники; 12 – личинка поденки; 13 – водяной ослик

Число станций устанавливают в зависимости от количества выделенных биотопов и площади водоема. В нагульных и выростных прудах рекомендуется делать по 10–15 станций в продуктивной зоне с глубинами 0,5–1,5 м. Для отбора проб удобнее пользоваться дночерпателем Экмана – Берджа, площадь захвата которого обычно составляет 0,025 м<sup>2</sup>. Это коробочный дночерпатель, закрывающийся с помощью посыльного груза. Перед отбором пробы лопасти дночерпателя поднимаются вверх и с помощью тросиков надеваются на рычаги спускового аппарата. В открытом виде на тонком металлическом тросе дночерпатель опускается на дно водоема, после чего по тросу опускается посыльный груз, который ударяет по втулке спускового аппарата, и дночерпатель закрывается, вырезая монолит грунта или ила с 0,025 м<sup>2</sup>.

Взятые дночерпателем пробы грунта переносят в мешок-промывалку, сшитый из капронового сита № 24–27. Пробы отмывают в воде пруда до избавления от мелких частиц. Оставшийся комочек грунта помещают в кювету и пинцетом выбирают из него гидробионтов, помещая их в склянку с формалином. Пробу этикетировывают, затем в лабораторных условиях тщательно изучают с помощью лупы и микроскопа. Фиксированные организмы обсушивают на фильтровальной бумаге, разбирают по группам, подсчитывают и взвешивают на весах (лучше торсионных). Раковины живых моллюсков раскрывают для удаления находящейся внутри жидкости. Предварительную обработку

можно провести непосредственно в момент отбора организмов из промытого грунта, распределяя их по группам (личинки хирономид и других насекомых, олигохеты, моллюски и др.).

Определяют биомассу каждого вида организмов в пробе, биомассу организмов, приходящихся на один дночерпатель, затем рассчитывают биомассу отдельных групп организмов и суммарную биомассу на 1 м<sup>2</sup>.

### Контрольные вопросы

1. Какова роль фитопланктона в пруду?
2. Назовите основные группы фитопланктона, развитие которых нежелательно в пруду.
3. Какова роль организмов зоопланктона и зообентоса в питании карпа?
4. Какие меры необходимо принять для повышения биомассы фитопланктона и зоопланктона в пруду?

### Т е м а 6. ПАРАМЕТРЫ РОСТА ПОПУЛЯЦИИ РЫБ

**Цель работы:** изучить параметры роста популяции рыб.

**Материалы и оборудование:** учебные пособия по курсу общей экологии, плакаты с индивидуальными заданиями.

Рост популяции рыб во времени зависит от ряда факторов: исходной численности, способности к размножению (скорость роста), наличия или отсутствия лимитирующих рост факторов среды. Различают два типа роста популяции: *экспоненциальный* (в оптимальных условиях среды) и *логистический* (при проявлении лимитирующих факторов). Экспоненциальный рост можно описать следующим дифференциальным уравнением:

$$N_t = N_0 e^{rt},$$

где  $N_t$  – численность популяции в момент времени  $t$ , экз.;

$N_0$  – численность популяции в начальный момент  $t_0$ , экз.;

$e$  – основание натурального логарифма;

$r$  – биотический потенциал (количество молодых особей, появившихся в популяции в единицу времени в идеальных условиях), экз.

В дифференциальной форме это уравнение можно записать следующим образом:

$$\frac{dN}{dt} = rN,$$

где  $dN$  – прирост численности популяции за отрезок времени  $dt$ .

Как правило, экспоненциальный рост численности возможен не продолжительное время. Однако в реальных условиях ресурсы среды ограничены, при увеличении численности и плотности популяции усиливается конкуренция за ресурсы и происходит замедление роста. Численность популяции приближается к предельно возможной для этих условий величине емкости среды  $K$ .

*Емкость среды* – степень способности природного окружения обеспечивать нормальную жизнедеятельность определенному числу организмов без заметного нарушения самого окружения.

Логистический тип роста может быть описан следующими уравнениями:

$$N_t = N_0 e^{rt \left( \frac{K-N}{K} \right)} \quad \text{или} \quad \frac{dN}{dt} = rN \left( \frac{K-N}{K} \right).$$

Из приведенных уравнений очевидно, что при приближении  $N$  к  $K$  выражение  $\left( \frac{K-N}{K} \right)$  стремится к 0 и прирост популяции не наблюдается.

### Задание

1. Постройте экспоненциальную кривую роста популяции по двадцати точкам, зная биотический потенциал  $r$  и исходную численность популяции  $N_0$ .

2. Определите биотический потенциал  $r$ , зная прирост численности популяции за единицу времени  $N_t$  и исходную численность  $N_0$ .

3. Постройте сигмоидальную кривую роста популяции по двадцати точкам, если известны: биотический потенциал  $r$ , емкость среды  $K$  и исходная численность популяции  $N_0$ .

4. Определите биотический потенциал  $r$ , зная прирост численности популяции за единицу времени  $N_t$ , исходную численность  $N_0$  и емкость среды  $K$ .

Полученные данные сведите в табл. 2.

Таблица 2. Расчеты параметров роста популяции

№	$r$	$N_0$	$\frac{dN}{dt}$
1			
2			
...			
20			

Индивидуальное задание представлено в табл. 3.

Таблица 3. Индивидуальное задание к работе

Вариант	1		2		3			4		
	$r$	$N_0$	$\frac{dN}{dt}$	$N_0$	$r$	$K$	$N_0$	$\frac{dN}{dt}$	$K$	$N_0$
1	1,1	12	278	12	1,3	184	50	1 120	450	650
2	1,2	15	284	151	1,5	110	10	382	5 000	190
3	1,4	11	310	214	1,9	120	40	760	280	750
4	1,7	6	112	100	1,6	220	23	650	2 200	300
5	1,3	14	382	275	1,5	170	50	190	1 700	197
6	1,5	8	310	100	1,2	50	10	750	500	180
7	1,1	11	650	600	1,7	80	11	300	800	125
8	1,6	20	190	130	1,1	700	99	2 784	700	154
9	1,9	4	750	560	1,2	620	50	2 840	620	100
10	1,6	6	300	220	1,3	58	11	310	580	600
11	1,7	13	197	115	1,1	450	50	1 120	450	130
12	1,4	8	180	140	1,4	500	50	180	184	560
13	1,8	18	125	215	1,7	280	11	125	1 100	220
14	2,4	2	154	35	1,3	820	50	154	1 200	115

## Тема 7. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТИПА ПРОСТРАНСТВЕННОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ОСОБЕЙ В ПОПУЛЯЦИИ РЫБ

**Цель работы:** изучить типы пространственного распределения особей рыб в популяции.

**Материалы и оборудование:** учебные пособия по курсу общей экологии, аквариум с рыбами (либо лоток с рыбами), рыбозаградительные сетки.

Основными показателями структуры популяций являются численность, распределение организмов в пространстве и соотношение разнокачественных особей. В связи с размерами ареал популяций может значительно изменяться, так же как и численность особей в них.

**Численность популяции** – это общее количество особей на данной территории или в данном объеме. Она зависит от соотношения интен-

сивности размножения (плодовитости) и смертности. В период размножения происходит рост популяции. Смертность же, наоборот, приводит к сокращению ее численности.

Основные типы пространственного размещения особей на площадках представлены на рис. 14.

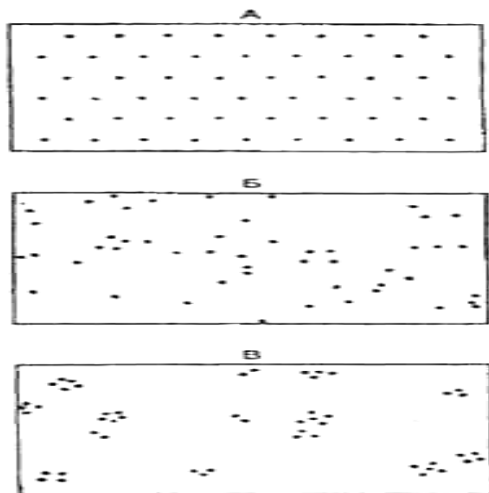


Рис. 14. Основные типы распределения особей в популяции: А – равномерное распределение; Б – случайное распределение; В – групповое распределение (по Ю. Одуму, 1986)

**Ход работы.** Группа делится на звенья из четырех человек. Каждое звено получает задание по определенному виду рыб. На участке водоема (в аквариуме или лотке) закладывают пробную площадку с ориентировочными размерами 2×2 м (или 20×20 см для аквариума). Делят ее на 16 учетных площадок размером 0,25 м<sup>2</sup>. Площадки нумеруют в соответствии с принадлежностью их к квадратам от 1 до 16. На каждой площадке подсчитывают количество особей данного вида  $N$ .

Тип пространственного размещения особей на площадках определяют по дисперсии, которая рассчитывается по формуле

$$\sigma^2 = \Sigma(m - N)^2 / (n - 1),$$

где  $m$  – среднее число особей на учетной площадке, экз.;  
 $n$  – число учетных площадок, шт.

## Задание

1. Заложите пробные площадки (рис. 15–17).
2. Посчитайте численность конкретного вида на каждой пробной площадке (рис. 18–20) и заполните табл. 4.

Таблица 4. Расчет пространственного размещения особей на учетных площадках

№ площадки	N	(m - N)	(m - N) <sup>2</sup>
1			
...			
16			
	$m = \dots$	$\Sigma = \dots$	$\Sigma = \dots$

3. Математически обработайте полученные данные.
4. Сравните величину дисперсии со значением  $m$  и определите тип пространственного размещения (если  $\sigma^2 = m$  – распределение случайное; если  $\sigma^2 < m$  – распределение равномерное; если  $\sigma^2 > m$  – распределение групповое).
5. Объясните полученные результаты.

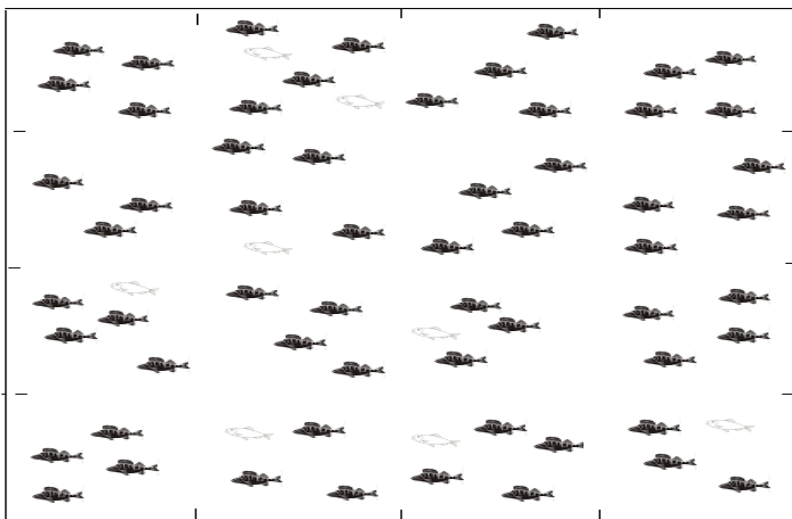


Рис. 15. Площадка № 1

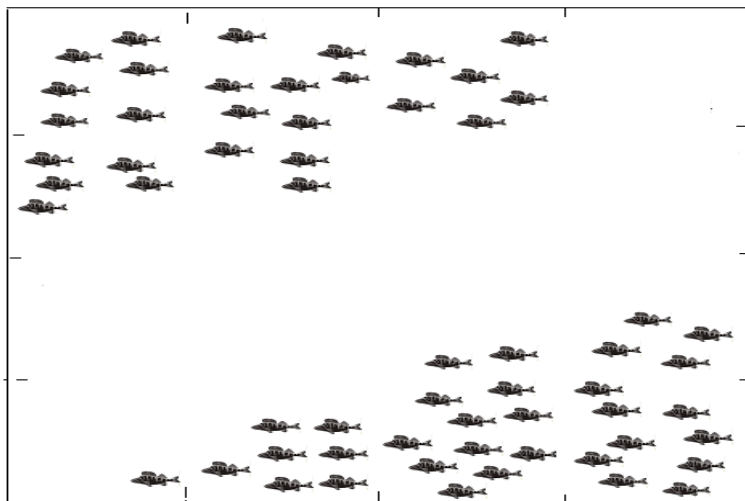


Рис. 16. Площадка № 2

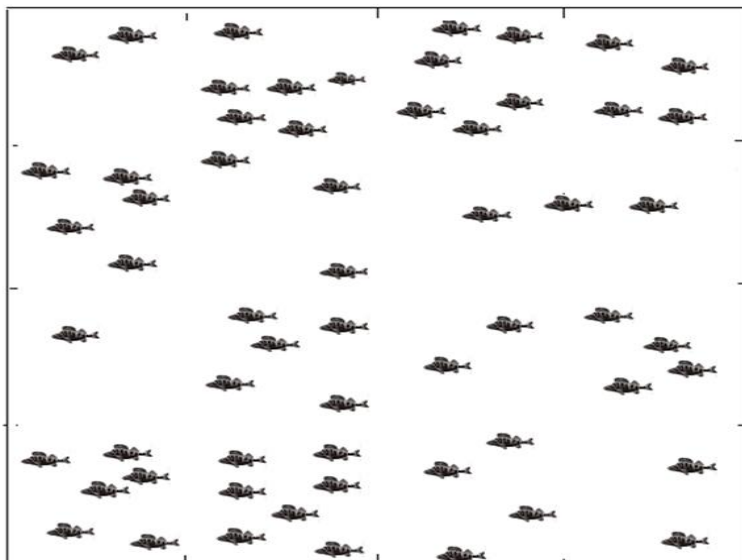


Рис. 17. Площадка № 3

## Т е м а 8. ВЛИЯНИЕ ПЛОТНОСТИ РОДИТЕЛЬСКИХ ОСОБЕЙ НА ДИНАМИКУ ПОПУЛЯЦИИ РЫБ

**Цель работы:** изучить влияние плотности родительских особей на динамику популяции.

**Материалы и оборудование:** модельная установка.

Размеры популяций в природе непостоянны, колеблются во времени и пространстве. Основными динамическими процессами, определяющими численность популяций, являются: рождаемость, смертность, выживаемость, скорость роста.

*Рождаемость* характеризует частоту появления новых особей в популяции. Средняя величина рождаемости каждого вида определялась исторически как приспособление для восполнения убыли популяции.

Величина рождаемости тем выше, чем больше доля особей, принимающих участие в размножении. Чем выше плодовитость, тем чаще следуют друг за другом репродуктивные циклы. Обычно рождаемость в каждой популяции уравновешена характерной для нее смертностью.

Рождаемость определяют по следующей формуле:

$$P = \frac{N_p \cdot 100}{N_i},$$

где  $P$  – рождаемость, %;

$N_p$  – рожденное число особей, шт.;

$N_i$  – исходное число особей, шт.

$$N_p = N_k - N_i + N_m,$$

где  $N_k$  – конечное число особей через определенное время, шт.;

$N_m$  – число погибших особей, шт.

$$N_k = N_i - N_m + N_p.$$

*Смертность* – величина, противоположная рождаемости, – может быть определена как число особей, погибших в популяции за определенное время. Так же, как и при оценке рождаемости, смертность обычно относят к общему числу особей в популяции и определяют по формуле

$$C = \frac{N_m}{N_i} 100,$$

где С – смертность, %.

**Выживаемость** – число особей (в процентах), сохранившихся в популяции за определенный промежуток времени. Обычно выживаемость определяется для разных возрастов и половых групп за разные сезоны, годы, периоды повышенной смертности.

Выживаемость измеряют отношением числа живых особей к конечному числу особей в популяции через определенный промежуток времени:

$$B = \frac{N_{ж}}{N_i} 100,$$

где В – выживаемость, %;

$N_{ж}$  – число живых особей, шт.

**Ход работы.** Моделируется динамика популяции рыб. Каждый вариант обрабатывается отдельно. Подсчет рыб проводится разделением их на мертвые и живые особи.

### Задание

1. Определите рождаемость (%), смертность (%) и выживаемость (%) популяции. Полученные результаты внесите в табл. 5.

Таблица 5. Основные характеристики популяции

Вид рыбы	Численность особей, шт.				Р, %	С, %	В, %
	исходная	конечная	в т. ч.				
			живых	мертвых			

2. Графически отобразите связь между плотностью родительских форм в популяции и рождаемостью, смертностью, выживаемостью.

3. Сделайте выводы о том, как плотность популяции связана с показателями рождаемости, смертности, выживаемости.

Индивидуальное задание представлено в табл. 6.

Таблица 6. Индивидуальное задание к работе

Вид рыб	Вариант									
	1		2		3		4		5	
	$N_{и}$	$N_{к}$	$N_{и}$	$N_{к}$	$N_{и}$	$N_{к}$	$N_{и}$	$N_{к}$	$N_{и}$	$N_{к}$
Щука	65	12	10	20	69	12	19	20	12	10
Карп	40	10	11	10	44	10	11	14	18	11
Карась	24	11	12	4	27	11	10	4	11	12
Верховка	15	0	106	18	15	8	106	19	8	106
Пелядь	104	4	94	104	109	4	102	104	4	94
Плотва	28	21	33	18	20	21	33	19	21	33
Уклея	406	408	39	40	407	408	37	40	408	39
Окунь	11	1	44	105	15	1	44	106	105	44
Линь	12	24	206	18	14	24	207	18	24	206
Красноперка	4	4	205	104	8	8	205	184	220	205
Сом пейский	28	19	100	200	28	19	104	200	119	100
Лещ	102	205	10	28	104	207	10	29	205	10
Пескарь	203	205	64	0	203	209	64	2	205	64
Ряпушка европейская	15	14	28	99	19	15	24	99	144	28

## Тема 9. ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ ВИДОВОЙ СТРУКТУРЫ СООБЩЕСТВА РЫБ

**Цель работы:** изучить состояние видовой структуры сообщества.

**Материалы и оборудование:** учебные пособия по курсу общей экологии, пробы ихтиофауны водоема.

Одной из основных характеристик любого биоценоза является его видовой состав, или общее число видов растений, животных и микроорганизмов на конкретной площади земли или в определенном объеме жидкости. Состав и число видовых популяций не остаются постоянными и подвержены сильным изменениям под воздействием природных и антропогенных факторов.

Оценку состояния видовой структуры сообщества осуществляют по характеристикам, приведенным ниже.

1. *Степень доминирования вида*  $p_i$  – доля особей данного вида в общей численности особей биоценоза:

$$p_i = n_i / \Sigma n,$$

где  $p_i$  – доля  $i$ -го вида в суммарной численности особей всех видов;

$n_i$  – число особей  $i$ -го вида, экз.;

$\Sigma n$  – суммарная численность особей всех видов, экз.

2. *Видовое богатство S* – общее число видов, обитающих в данном биотопе. Видовое богатство возрастает с севера на юг, а также с увеличением площади биотопа и эволюционного времени. Чем выше видовое богатство, тем более устойчивым является биоценоз, и наоборот.

3. *Индекс разнообразия Симпсона D*. Чем больше *D* приближается к *S*, тем разнообразнее сообщество:

$$D = 1 / \sum p_i^2,$$

где  $p_i$  – доля  $i$ -го вида в суммарной численности особей всех видов.

4. *Индекс выравненности Симпсона E*.

*Выравненность* – соотношение численности видов в биоценозе. Определяется по долевному отношению численности вида к общему числу особей. Например, если два биоценоза (А и В) имеют одинаковое видовое богатство (10 видов) и одинаковую численность особей (100 особей), то они могут различаться по характеру распределения этих особей между видами, т. е. выравненностью:

- биоценоз А: 91:1:1:1:1:1:1:1:1:1 – минимальная выравненность и максимальное доминирование;

- биоценоз В: 10:10:10:10:10:10:10:10:10:10 – максимальная выравненность и минимальное доминирование.

Выравненность возрастает с севера на юг, а доминирование – с юга на север.

При изучении выравненности используют *индекс выравненности Симпсона*. Чем больше этот индекс приближается к 1, тем равномернее представлены все виды в сообществе:

$$E = D / S.$$

5. *Состояние сообщества* – может быть устойчивым или нарушенным. Оценивают показатель по зависимости числа видов сообщества от числа особей, приходящихся на один вид.

По численности особей виды в биоценозе подразделяются на доминантные, субдоминантные, малочисленные, редко встречающиеся (редкие) и случайные. Доминантные виды часто выполняют средообразующую функцию, в таком случае их называют *виды-эдификаторы*.

**Ход работы.** Работа носит расчетно-аналитический характер. Каждые два студента получают индивидуальное задание из таблицы и выполняют необходимые расчеты. Результаты заносятся в табл. 7.

Таблица 7. Оценка состояния видового сообщества

№ варианта	Тип экосистемы	Наименование вида	Число особей		Положение вида							
			шт.	%	Доминантный	Субдоминантный	Малочисленный	Случайный	$p_i$	$p_i^2$	Д	Е
					$\Sigma =$	$\Sigma =$	$\Sigma =$	$\Sigma =$		$\Sigma =$		

### Задание

1. Рассчитайте индекс разнообразия  $D$  и индекс выравненности  $E$  сообщества.

2. Выделите виды-доминанты по численности и биомассе (рассчитайте долю вида в процентах по числу особей или биомассе).

3. Выделите виды-эдификаторы сообщества.

4. Выделите редкие и малочисленные виды сообщества.

5. Постройте график зависимости числа видов в биоценозе от числа особей, приходящихся на один вид, для выявления степени нарушенности биоценоза (чем более пологая кривая, тем более нарушен биоценоз).

6. Оцените состав ихтиофауны по отрядам, семействам исходя из наличия отдельных представителей в экосистеме, используя приложение.

Индивидуальное задание к работе приведено в табл. 8.

Таблица 8. Индивидуальное задание к работе

Тип экосистемы	Название вида	Вариант задания				
		1	2	3	4	5
Пруд	Карп	65	12	–	28	8
	Щука	–	25	–	104	–
	Карась	15	5	28	5	39
	Верховка	9	3	39	2	5
	Плотва	27	8	12	–	9
	Уклея	13	–	8	36	46
	Окунь	–	26	166	15	17
	Линь	3	1	–	8	3
	Красноперка	31	23	12	6	36
	Сом европейский	2	1	–	1	8
	Лещ	5	1	2	–	3
	Пестрый толстолобик	28	9	15	7	15
Белый амур	8	17	7	28	–	

	Название вида	Вариант задания				
		6	7	8	9	10
Озеро	Карп	48	15	–	11	24
	Щука	117	43	8	33	52
	Карась	78	20	21	53	24
	Верховка	2	13	–	6	10
	Плотва	6	–	8	17	–
	Уклея	15	35	13	8	18
	Окунь	–	5	–	2	16
	Линь	20	16	14	13	9
	Красноперка	–	8	5	–	1
	Сом европейский	6	16	9	5	–
	Лещ	49	77	13	20	43
	Пескарь	8	19	29	6	11
	Ряпушка европейская	1	8	16	–	7
	Река		Вариант задания			
		11	12	13	14	15
Судак		38	13	9	–	48
Щука		16	33	47	10	15
Карась		117	29	33	–	73
Верховка		37	66	45	125	45
Плотва		11	18	13	25	5
Уклея		8	13	–	19	9
Окунь		14	6	7	–	–
Линь		7	–	3	8	6
Красноперка		11	14	20	17	13
Сом европейский		–	3	78	18	–
Лещ		3	8	25	–	12
Пескарь		5	14	9	26	6
Бычок-голец	21	9	17	7	4	

### Т е м а 10. ТИПЫ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ВИДОВ РЫБ В СРЕДЕ ЖИВЫХ ОРГАНИЗМОВ

**Цель работы:** изучить типы взаимодействия различных видов рыб в среде обитания.

**Материалы и оборудование:** учебные пособия по курсу общей экологии, аквариумные виды рыб.

В природе организмы живут не изолированно друг от друга. Между ними и средой осуществляется непрерывный обмен веществом, энергией. Объединяют виды в сообщество абиотические условия, придающие определенное однообразие местообитанию и разнообразие связям и отношениям.

Выделяют различные формы биотических связей, которые приведены ниже.

1. Трофические связи. Наиболее распространены в биоценозе. Они характеризуют трофику, т. е. питание организмов. Имеют большое значение в природе.

Трофические связи – форма связей между популяциями в биоценозе, проявляющихся в питании особей одного вида за счет живых особей другого вида, продуктов их жизнедеятельности или их мертвых остатков.

2. Топические связи – это создание одним видом сферы существования для другого (паразитизм, комменсализм). Особую роль в формировании среды обитания играют растения. Известно, что растительность, благодаря особенностям энергообмена, является мощным фактором перераспределения тепла у поверхности Земли и создания микро- и макроклимата.

Примером топических связей могут быть морские желуди, которые поселяются на коже кита, и т. д.

3. Форические связи – это участие одного вида в распространении другого. Известно такое понятие, как зоохория – перенос животными семян, спор, пыльцы растений. Зоохория может быть пассивной (тело животного случайно столкнулось с растением, семена которого имеют зацепки, выросты) и активной (поедание плодов и ягод).

Форезия – это перенос животными других мелких животных. Распространена преимущественно среди мелких членистоногих, особенно различных групп клещей.

4. Фабрические связи – это использование одним видом продуктов жизнедеятельности других видов для устройства (фабрикации) своего жилища. Например, некоторые виды рыб используют для нереста полость других гидробионтов для кладки икры.

Теоретически взаимодействие популяций двух видов можно выразить в виде следующих комбинаций символов:

0 0, --, ++, + 0, - 0, + -,

где «0» – существенное взаимодействие между популяциями отсутствует; «+» – благоприятное действие на рост, выживание или другие характеристики популяции; «-» – ингибирующее действие на рост или другие характеристики популяции.

Выделяют 9 типов наиболее важных взаимодействий между видами (по Ю. Одуму, 1986):

- *нейтрализм* (0 0) – ассоциация двух видов популяций не влияет ни на один из них;

- *взаимное конкурентное подавление* (- -) – обе популяции взаимно подавляют друг друга;

- конкуренция из-за ресурсов (- -) – каждая популяция неблагоприятно воздействует на другую при недостатке пищевых ресурсов;
- аменсализм (- 0) – одна популяция подавляет другую, но сама при этом не испытывает отрицательного влияния;
- паразитизм (+ -) – популяция паразита наносит вред популяции хозяина;
- хищничество (+ -) – одна популяция неблагоприятно воздействует на другую в результате прямого нападения, но зависит от другой;
- комменсализм (+ 0) – одна популяция извлекает пользу от объединения с другой, а другой популяции это объединение безразлично;
- протокооперация (+ +) – обе популяции получают пользу от объединения;
- мутуализм (+ +) – связь благоприятна для роста и выживания отдельных популяций, причем в естественных условиях ни одна из них не может существовать без другой.

Девять описанных видов взаимодействий можно свести к двум более обобщенным типам – отрицательным (антибиотическим) и положительным (симбиотическим).

### Задание

1. Изучите типы биотических связей и биотических отношений, в рамках которых взаимодействуют виды в биотопах.
2. Проведите осмотр биоценоза водоема, выполните учет видов.
3. Определите группы организмов и выявите типы биотических отношений и связей между ними.
4. Определите преобладающий тип биотических связей и отношений.
5. Приведите примеры видов или группы организмов, различных по типам биотических связей и отношений, которыми данные виды связаны с видом-детерминантом. Данные сведите в табл. 9.

Таблица 9. Примеры взаимодействия между видами

Вид-детерминант	Взаимодействующий вид	Тип биотических связей			
		Трофические	Топические	Форические	Фабрические
		Тип биотических отношений			

6. На основании преобладания положительных или отрицательных типов взаимодействий сделайте вывод о стадии развития экосистемы.

## Т е м а 11. БИОТИЧЕСКИЙ БАЛАНС ВОДОЕМА

**Цель работы:** изучить биотический баланс на примере водоема.

**Материалы и оборудование:** учебные пособия по курсу общей экологии, структура водоема в схемах.

Особое место в экосистемах занимает баланс органических веществ, который включает в себя разнородные и сложные биотические процессы в водоемах. Баланс органических веществ в водных экосистемах не является простой разностью между их поступлением и выносом, поскольку органические вещества могут синтезироваться в самом водоеме.

В гидробиологии широкое применение получил энергетический принцип изучения функционирования экосистем водоемов и водотоков. Каждая составляющая биотического баланса в экосистемах занимает вполне определенное положение по отношению к потоку энергии в них. Использование понятия «поток энергии» позволяет достаточно хорошо описать преобразование энергии в экосистемах, поскольку превращения энергии в них идут в направлении от организмов-накопителей энергии к организмам-потребителям.

Энергия поступает на каждый трофический уровень и трансформируется в сложных трофических сетях. При этом в экосистеме организуется поток энергии, который рассматривается как одно из фундаментальных ее свойств. Трофические связи и потоки энергии в экосистемах сложны и разветвлены. В процессы трансформирования энергии вовлекается как энергия, заключенная в членах сообществ организмов и преобразованная ими, так и энергия абиотических компонентов (энергия света, механическая, тепловая энергия воды, минеральных растворенных веществ и т. д.).

К настоящему времени для многих различных по типу водоемов, расположенных в различных частях Земли, составлены биотические балансы их экосистем (табл. 10).

Таблица 10. Структура и функции экосистем. Биотический баланс экосистемы водоема, ккал/м<sup>2</sup>/150 сут

Показатель	Вариант	Уровень								
		Фитопланктон	Макрофиты	Бактериопланктон	Зоопланктон мирный	Зообентос мирный	Белый амур	Зоопланктон хищный	Зообентос хищный	Карп
<i>B</i>	1	28	100	1,8	8	12	2	2,8	1	18
	2	35	94	1,2	6	14	3	4	2	17
	3	40	102	1,6	7	11	4	3,4	3	21
	4	46	124	1,8	11	16	2	4,2	2	15
	5	44	101	1,5	9	12	6	3,4	3	13
	6	26	92	1,4	6	13	5	4	4	18
	7	28	89	1,6	8	14	2	3,2	3	20
<i>P</i>	1	2800	510	318	150	64	6	73	19,5	40
	2	3000	490	305	160	66	5	70	20,2	38
	3	2600	520	311	145	72	4	65	16,8	45
	4	2400	470	326	140	68	3	68	18,5	26
	5	3100	525	299	170	75	5	74	17,5	35
	6	2700	410	245	180	69	7	68	16,0	44
	7	2900	420	321	175	64	8	72	18,4	50
<i>T</i>	1	476	310	490	240	124	10	110	1	58
	2	452	290	500	270	120	12	115	2	60
	3	440	280	480	285	135	9	121	3	62
	4	384	315	450	215	141	8	113	2	55
	5	516	300	465	230	128	14	114	4	61
	6	490	310	440	224	132	11	109	3	57
	7	505	315	425	250	142	9	100	2	64
<i>C</i>	1	–	–	730	910	110	85	220	6,5	148
	2	–	–	720	900	100	90	210	7	150
	3	–	–	741	880	95	87	215	6	154
	4	–	–	820	890	120	100	190	8	160
	5	–	–	655	887	105	95	235	6,5	158
	6	–	–	705	850	95	90	240	7,5	160
	7	–	–	720	960	109	88	245	9	134

Примечания: 1. *B* – биомасса, *P* – продукция, *T* – траты энергии на дыхание, *C* – рацион.

2. Зоопланктон мирный питается фитопланктоном и бактериями; зообентос мирный – фитопланктоном; зоопланктон хищный – мирным зоопланктоном; зообентос хищный – мирным зообентосом, мирным и хищным зоопланктоном; белый амур – макрофитами; карп – зообентосом мирным и хищным, зоопланктоном мирным и хищным.

## Задание

При выполнении задания необходимо пользоваться данными биотического баланса регулируемой экосистемы рыбоводного пруда, представленными в табл. 10.

1. Определите потоки энергии через каждый трофический уровень ( $A = (P + T) \cdot 150$ ).

2. Вычислите значения коэффициентов для каждого структурного звена ( $P / B$ ).

3. Определите эффективность использования энергии рациона на рост  $K_1$  в каждом звене гетеротрофов ( $K_1 = \frac{A}{C}$ ).

4. Определите эффективность использования ассимилированной энергии на рост  $K_2$  ( $K_2 = \frac{A}{P}$ ).

5. Определите обеспеченность пищей каждого звена и трофического уровня гетеротрофов ( $A = C \cdot 150$ ).

6. Найдите ошибку в балансе.

7. Начертите блок-схему экосистемы с обозначением величин и связей (направления потоков).

## Т е м а 12. ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПИРАМИДЫ ВОДОЕМА

**Цель работы:** изучить экологические пирамиды в водоеме.

**Материалы и оборудование:** учебные пособия по курсу общей экологии, экологическая пирамида в водоеме в схемах.

В биоценозах все организмы (продуценты, консументы, редуценты) теснейшим образом связаны между собой и с неживой природой. Связь эта выражается через передачу вещества и энергии, т. е. цепь питания. Графическое выражение цепи питания называется экологической пирамидой (рис. 18).



Рис. 18. Экологическая пирамида

Экологические пирамиды выражают трофическую структуру экосистемы в геометрической форме. Они строятся в виде прямоугольников одинаковой ширины, но длина прямоугольников должна быть пропорциональна значению измеряемого параметра. Таким образом можно получить пирамиды чисел, биомассы и энергии.

Пирамиды чисел представляют собой наиболее простое приближение к изучению трофической структуры экосистемы. Установлено основное правило, согласно которому в любой среде при переходе с одного трофического уровня на другой численность особей уменьшается, а их размер увеличивается (рис. 19).

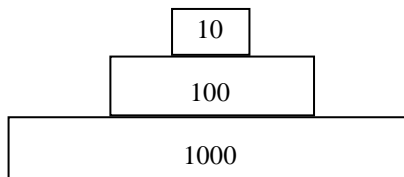


Рис. 19. Экологическая пирамида чисел

Однако в построении различных пирамид чисел наблюдается большое разнообразие: иногда они могут быть перевернутыми. Такая картина наблюдается в пищевых цепях паразитов.

Пирамида биомассы более полно отражает пищевые взаимоотношения в экосистеме, так как она показывает биомассу (сухая масса) в данный момент на каждом уровне пищевой цепи (рис. 20).



Рис. 20. Пищевая пирамида биомассы водоема

Пирамиды энергии являются наиболее фундаментальным способом отображения связей между организмами на различных трофических уровнях. Каждая ступенька пирамиды энергии отражает количество энергии (на единицу площади или объема), прошедшей через определенный трофический уровень за определенный период.

В 1942 г. американский эколог Раймонд Линдеман сформулировал закон пирамиды энергии, согласно которому с одного трофического уровня на другой через пищевые цепи переходит в среднем около 10 % энергии, поступившей на предыдущий уровень экологической пира-

миды («правило 10 %»). Остальная часть энергии тратится на обеспечение процессов жизнедеятельности. В результате процессов обмена организмы теряют в каждом звене пищевой цепи около 90 % всей энергии. Следовательно, для получения, например, 1 кг окуней должно быть израсходовано приблизительно 10 кг молоди рыб, 100 кг зоопланктона и 1 000 кг фитопланктона.

### Задание

1. Распределите виды по трофическим уровням.
2. Определите биомассу организмов в пищевой цепи.
3. Пользуясь правилом экологической пирамиды, подсчитайте, какая площадь соответствующего биогеоценоза может обеспечить питанием одну особь последнего звена в цепи питания.

### Индивидуальное задание к работе

Составьте схему пищевой цепи из перечисленных организмов:

- а) кулик, береговая улитка, сорока (200 г), фитопланктон;
- б) сельдь (400 г), диатомовые водоросли, веслоногие рачки;
- в) зоопланктон, полярная тресочка, тюлень, полярный медведь (600 кг), фитопланктон;
- г) личинки насекомых, торф, хариус, белый медведь (620 кг);
- д) утка-морянка (1 кг), фитопланктон, бокоплав;
- е) зоопланктон, мелкие рыбы, щука (10 кг), окунь, фитопланктон;
- ж) лосось, мелкие рыбы, медведь (300 кг), зоопланктон, фитопланктон;
- з) синий кит (150 т), фитопланктон, зоопланктон.

Биологическая продуктивность фитопланктона равна  $600 \text{ г/м}^2$  в год, растительности – 1 000, других видов биомассы –  $800 \text{ г/м}^2$  в год (в пересчете на сухое вещество).

## Т е м а 13. ОСНОВНЫЕ БИОМЫ ЗЕМЛИ И ИХ ОСОБЕННОСТИ

**Цель работы:** изучить основные биомы Земли и их особенности.

**Материалы и оборудование:** учебные пособия по курсу общей экологии.

В зависимости от условий существования биоценоза все экосистемы, существующие на планете Земля, подразделяются на три типа:

- 1) наземные;
- 2) пресноводные;
- 3) морские.

***Типы наземных экосистем:***

- тундра;
- тайга;
- листопадные леса умеренной зоны;
- степи умеренной зоны;
- чапараль;
- тропические саванны и лугопастбищные земли;
- тропические леса.

Пять основных факторов влияют на биоту водных экосистем:

- соленость, т. е. процентное содержание (по весу) растворенных в воде солей, главным образом NaCl, KCl и MgSO<sub>4</sub>;
- прозрачность, характеризующаяся относительным изменением интенсивности светового потока с глубиной;
- концентрация растворенного кислорода;
- доступность питательных веществ, прежде всего соединений химически связанного азота и фосфора;
- температура воды.

Пресноводные водоемы, как правило, делят на два типа:

- 1) стоячие – озера, пруды, болота;
- 2) проточные – родники, ручьи и реки.

Кроме того, до некоторой степени условно к пресноводным водоемам можно отнести эстуарии и лиманы – обширные, частично заболоченные акватории в устьях рек, вода в которые поступает как из рек, так и из моря за счет приливов и ветрового нагона.

Пресноводные экосистемы покрывают 0,8 % поверхности Земли и составляют 0,009 % от общего объема воды. Они генерируют почти 3 % чистой первичной продукции. Пресноводные экосистемы содержат 41 % всех известных в мире видов рыб.

***Есть три основных типа пресноводных экосистем:***

- стоячие: медленное перемещение воды, например бассейны, пруды и озера;
- проточные: быстро движущаяся вода, например ручьи и реки;
- болото: область, где почва насыщена или обводнена, по крайней мере иногда.

*Озеро* – компонент гидросферы, представляющий собой естественно возникший водоем, заполненный в пределах озерной чаши (озерно-

го ложа) водой и не имеющий непосредственного соединения с морем (океаном). Озера являются предметом изучения науки лимнологии. Всего в мире насчитывается около 5 млн. озер.

С точки зрения планетологии озеро представляет собой существующий стабильно во времени и пространстве объект, заполненный веществом, находящимся в жидкой фазе, размеры которого занимают промежуточное положение между морем и прудом.

Хотя химический состав озер остается относительно длительное время постоянным, в отличие от реки заполняющее его вещество обновляется значительно реже, а имеющиеся в нем течения не являются преобладающим фактором, определяющим его режим. Озера регулируют сток рек, задерживая в своих котловинах полые воды и отдавая их в другие периоды. В водах озер происходят химические реакции. Одни элементы переходят из воды в донные отложения, другие – наоборот. В ряде озер, главным образом не имеющих стока, в связи с испарением воды повышается концентрация солей. Результатом являются существенные изменения минерализации и солевого состава озер. Благодаря значительной тепловой инерции водной массы крупные озера смягчают климат и температуру прилегающих районов, уменьшая годовые и сезонные колебания метеорологических элементов.

По типу минерализации различают озера:

- пресные;
- ультрапресные;
- минеральные (соленые);
- солоноватые;
- соленые.

По химическому составу воды минеральные озера делятся:

- на карбонатные (содовые);
- сульфатные (горько-соленые);
- хлоридные (соленые).

Всего в мире существует около 5 млн. озер. Условия для жизни в озерах отличаются от морских, например в большинстве случаев озерная вода – пресная.

Рыбы здесь соответствующие – озерные. Их также называют речными, поскольку аналогичные виды часто водятся и в пресных реках. Одним из главных отличий таких рыб можно назвать небольшие размеры, развитый скелет и отсутствие большого количества ярких окрасок.

Из 46 видов рыб-аборигенов, обитающих в настоящее время в водоемах Беларуси, 24 вида широко распространены в реках и озерах и

занимают самые разнообразные места обитания; 18 видов являются обитателями рек и лишь случайно, единичными экземплярами могут заходить в проточные озера и пойменные водоемы. Из них пресноводные миноги, ручьевая форель, хариус, голян обыкновенный, голец населяют преимущественно верховья рек и ручьев с чистой холодной водой; стерлядь, подуст, белоглазка, синец, чехонь, ерш-носарь, бычок-песчаник – рыбы более теплолюбивые и обитают на равнинных участках рек; промежуточное положение занимают голавль, усач, быстрянка, обитающие на участках с теплой водой, но обязательно на течении.

Широко распространены по рекам елец, сырть и многие озерно-речные рыбы. Чисто озерными являются лишь ряпушка и снеток, обитающие в глубоких мезотрофных озерах бассейнов Западной Двины и Вилии, а также голян озерный, встречающийся в некоторых небольших озерах и пойменных водоемах бассейна Днепра. Такая ценная рыба, как стерлядь, встречается единичными экземплярами в Днепре и его крупнейших притоках, форель ручьевая – в верховьях некоторых притоков Немана и Березины (днепровской), хариус – в отдельных притоках Немана. Очень сильно подорваны запасы ряпушки, усача, сырты, сома и некоторых других ценных рыб. К сожалению, места обитания их продолжают сокращаться и если не принять срочных мер по их охране и воспроизводству, эти виды могут полностью исчезнуть из фауны Беларуси.

*Пруд* – искусственный или естественный водоем для хранения воды с целью водоснабжения, орошения, разведения рыбы (прудовое рыбное хозяйство) и водоплавающей птицы, а также для санитарных, противопожарных и спортивных потребностей. В российском законодательстве, например, прудами считаются искусственные водоемы площадью не более 1 км<sup>2</sup>.

Размер и глубина прудов может сильно варьироваться в зависимости от времени года; многие пруды образуются в период весеннего паводка из рек.

Пруды по определению обычно представляют собой довольно мелкие водоемы с различной численностью водных растений и животных. Глубина, сезонные колебания уровня воды, потоки питательных веществ, количество света, попадающего в пруды, форма, присутствие крупных млекопитающих, состав сообществ рыб и соленость – все это может влиять на типы присутствующих сообществ растений и животных.

Пищевые цепи основаны на свободно плавающих водорослях и водных растениях. Обычно существует множество разнообразных

водных организмов, в том числе водоросли, улитки, рыбы, жуки, водяные клопы, лягушки, черепахи, выдры и ондатры. Главные хищники могут включать крупную рыбу, цапель или аллигаторов. Поскольку рыба является основным хищником личинок земноводных, те водоемы, которые ежегодно пересыхают и вызывают гибель обитающей там рыбы, являются важным убежищем для размножения амфибий. Пруды, которые ежегодно полностью пересыхают, часто называют весенними бассейнами.

В зависимости от водного режима или задач прудового рыбоводства пруды могут быть пресноводными или солоноватыми.

Величину солености воды для выбора вселенцев в пруд проще всего определить на вкус, конечно, при условии, что вода не содержит токсических веществ и отвечает санитарным требованиям. Соль в воде чувствуется при содержании 1–3 г/л. Количество солей в воде можно определить также с помощью солемера. Если вода имеет высокую соленость, то необходимо проводить ее анализ хотя бы один раз в год.

Только в пресной воде растут тростник, камыш, сагиттария, нимфейник, валлиснерия, рдесты, хара, кубышка; из моллюсков живут перловицы, прудовики, физы, из ракообразных – водяной ослик, щитни, а также личинки насекомых, рататра и т. д.

Повышение солености до 4–6 г/л уничтожает пресноводные водоросли и моллюсков – прудовиков, перловиц; в такой воде почти не встречается личинок стрекоз, водяного ослика.

*Река* – природный водный поток (водоток) значительных размеров с естественным течением по руслу (выработанному им естественному углублению) от истока вниз до устья и питающийся за счет поверхностного и подземного стока с его бассейна.

Для проточных экосистем важен свет, так как он обеспечивает энергией продуцентов посредством фотосинтеза и предоставляет убежище в виде тени для кормовых видов. Количество света, принимаемого экосистемой, зависит от внутреннего и внешнего течений. Территория вокруг небольшого ручья, например, может быть в тени окружающих его лесов или склонов долины. Большие речные системы, как правило, слишком широки, и внешние преграды не могут задержать солнечные лучи, поэтому они достигают поверхности воды. Такие реки, как правило, более бурные, однако частицы, взвешенные в воде, ослабляют свет с увеличением глубины. Сезонные и суточные факторы могут также играть роль в доступности света, так как из-за угла падения света может произойти его отражение и, как следствие, его

недостаток. По закону Бера известно, что чем меньше угол падения, тем больше света отражается, а количество солнечной радиации уменьшается логарифмически в зависимости от глубины. Дополнительное влияние на освещенность оказывают облачность, высота и географическое положение.

Большинство видов, обитающих в проточных экосистемах, – хладнокровные, температура их меняется с окружающей средой. Таким образом, температура – главный абиотический фактор для них. Вода может нагреваться или охлаждаться от излучения на поверхности и от воздуха. Мелкие потоки, как правило, имеют высокий уровень смешивания и поддерживают относительно равномерную температуру в пределах области. В более глубоких, медленнее движущихся водных системах, однако, может развиваться сильное различие между нижними и поверхностными температурами. Водные системы, наполняющиеся весной, имеют небольшие изменения, так как родники, идущие из грунтовых вод, как правило, имеют температуру, близкую к окружающей среде. Многие водные системы показывают сильные суточные и сезонные колебания, которые наиболее сильны в арктических, пустынных и умеренных системах. Количество затенения, климат и высота также влияют на температуру проточных экосистем.

Химический состав воды между системами сильно различается и зависит от отложений минеральных солей на дне русла. На него также влияют антропогенные загрязнения. Большие различия в составе воды обычно наблюдаются в мелких проточных экосистемах из-за высокого уровня смешивания. В крупных речных экосистемах содержатся питательные вещества, растворенные соли, и там снижается уровень рН с увеличением расстояния от источника реки.

Кислород является, вероятно, наиболее важным компонентом в проточных экосистемах, так как всем аэробным организмам он нужен для выживания. Он входит в воду путем диффузии на границе воды и воздуха. Растворенность кислорода в воде уменьшается с увеличением рН и температуры воды. Быстрые турбулентные потоки способны выставить больше поверхности воды к воздуху и, как правило, имеют низкую температуру, поэтому содержание кислорода в них больше, чем в медленных заводях. Кислород является побочным продуктом фотосинтеза, поэтому в системах с высоким обилием водорослей и растений концентрация кислорода в течение дня высокая. Этот уровень может значительно снижаться ночью, когда основные производители кислорода переключаются на дыхание. Кислорода может быть не-

достаточно, если циркуляция между поверхностью и более глубокими слоями плохая или если активность животных в проточной воде высокая и происходит большое количество органического распада.

Водоросли, состоящие из фитопланктона и перифитона, являются наиболее важными источниками первичной продукции в большинстве ручьев и рек. Фитопланктон свободно плавает в толще воды и, таким образом, не в состоянии поддерживать рост в быстрых ручьях. Он может, однако, развивать внушительную численность в медленно движущихся реках и болотах. Перифитон – это, как правило, нитевидные и ворсовые водоросли, которые могут присоединяться к объектам, чтобы избежать вымывания быстрым течением. В тех местах, где скорость потока пренебрежимо мала или отсутствует, перифитон может образовывать гелеобразный плавающий ковер.

Растения обладают ограниченной адаптацией к быстрым течениям и наиболее успешной в медленно текущих реках. Более примитивные растения, такие как мхи и печеночные мхи, присоединяются к твердым предметам. Это обычно происходит в более холодных верховьях, где в основном преобладает скалистый субстрат. Некоторые растения могут свободно плавать на поверхности воды в виде плотных ковров, например ряска или водяной гиацинт. Другие имеют корни и могут быть классифицированы как погруженные и плавающие. Укоренившиеся растения обычно встречаются в районах с ослабленным течением, где имеются мелкозернистые почвы. Укоренившиеся растения гибкие, с удлиненными листьями, которые обеспечивают им минимальное сопротивление течению.

До 90 % беспозвоночных в некоторых проточных экосистемах являются насекомыми. Эти виды очень разнообразны и могут быть обнаружены почти во всех доступных местах обитания, в том числе на поверхностях камней, глубоко под субстратом, на течении и в поверхностной пленке. Насекомые разработали несколько стратегий для жизни в разнообразных потоках проточных экосистем. Некоторые избегают районов с высокими течениями, обитают в субстрате или в защищенных сторонах скал. Кроме того, встречаются виды моллюсков, таких как улитки, морские блюдца, моллюски, жемчужницы, а также ракообразные, такие как раки и крабы. Как и большинство основных консументов, обитающих в проточных экосистемах, беспозвоночные часто полагаются на течение, приносящее им еду и кислород. Беспозвоночные являются важной частью речных экосистем и выступают как в роли консументов первого, так и второго порядков.

Рыбы, вероятно, самые известные жители проточных экосистем. Способность рыб жить в потоке воды зависит от скорости, с которой они могут плавать, и продолжительности придерживания рыбой этой скорости. Эта способность может значительно варьироваться между рыбами, привязанными к среде обитания, в которой они могут выжить. Постоянное плавание требует колоссальных затрат энергии, и, следовательно, рыбы проводят лишь небольшие периоды своей жизни на полном течении. Они обитают близко ко дну или берегу, прячутся за препятствиями, мешающими течению, выбираясь на течение только в период кормления или для изменения местоположения. Некоторые виды приспособились к жизни только на дне, никогда не углубляясь в открытый поток воды. Эти рыбы имеют плоскую форму тела для того, чтобы легче сопротивляться течению, и глаза, расположенные на верхней части головы для того, чтобы видеть то, что происходит над ними. Некоторые рыбы имеют чувствительные органы для того, чтобы проверять субстрат под собой.

Проточные экосистемы обычно соединяются друг с другом, образуя путь к океану (источник → ручей → река → океан), и жизненные циклы многих видов рыб состоят из стадий в пресной и соленой воде. Лосось, например, является анадромным видом, который рождается и развивается в пресной воде, а затем переселяется в океан, будучи взрослой особью. Угри являются катадромами: рождаются и развиваются в океане, а затем переходят в пресную воду, став взрослыми.

К другим позвоночным, обитающим в проточной воде, относят амфибий (например, саламандры, тритоны и лягушки), рептилий (например, змеи, черепахи, крокодилы и аллигаторы), различных видов птиц и млекопитающих (например, выдры, бобры, бегемоты и речные дельфины). За исключением нескольких видов, эти позвоночные не привязаны к воде, как рыбы, и тратят часть своего времени в наземной среде обитания. Многие виды рыб имеют важное значение в качестве консументов и кормовой базы для более крупных позвоночных.

*Болото* – участок ландшафта, характеризующийся избыточным увлажнением, влаголюбивым живым напочвенным покровом. Для болота характерно отложение на поверхности почвы не полностью разложившегося органического вещества, превращающегося в дальнейшем в торф. Слой торфа в болотах – не менее 30 см, если меньше, то это заболоченные земли.

Животные болот умеренного пояса:

- европейская болотная черепаха (*Emys orbicularis*);
- различные виды жаб и лягушек;

- лоси, еноты, выдры, норки, ондатры;
- птицы (журавли, куропатки, цапли, кулики, чибисы, утки, камышницы и пр.)

Растения болот:

- брусника, произрастающая на торфяных болотах;
- голубика;
- клюква, произрастающая на верховых и переходных болотах;
- морошка, произрастающая на торфяных болотах;
- росянка, из-за недостатка минеральных веществ в почве занимающая пассивной ловлей насекомых;
- болотный кипарис, распространенный в Северной Америке и акклиматизированный в дельте Дуная;
- мох сфагнум;
- багульник;
- осока;
- аир;
- пузырчатка.

Для рыбы в болотах годами формируются идеальные условия существования. Для болот характерно отсутствие хищников, наличие обилия водных растений и пищи, а также почти полное отсутствие рыболовов. Единственным плохим условием для рыбы на болотах является минимальное содержание кислорода. Именно поэтому из всего многообразия рыб в болотах обитает только карась, которому практически не мешает такой кислородный режим.

Самыми рыбными местами на болоте являются места с глубиной от одного до двух метров. В таких местах обычно сосредоточивается максимальное количество рыбы. Здесь ловят сазанов. Кто-то называет их одичавшими карпами. Это большая и вкусная рыба. В болотах ловят и окуня, что удивительно. Но везде пишут, что щуки в болоте нет. Видимо, это связано с кислородом. Вообще в системе озеро – болото чаще всего обитают плотва, окунь, щука, налим, елец, язь, голянь, укляя, вьюн, девятиглая колюшка, трехглая колюшка, ерш.

***Типы морских экосистем:***

- открытый океан;
- воды континентального шельфа (прибрежные воды);
- районы апвеллинга (плодородные районы с продуктивным рыболовством);
- эстуарии (прибрежные бухты, проливы, устья рек и т. п.).

## Задание

1. Опишите водные экосистемы исходя из текста данных методических указаний, приложения и личных исследований, заполнив табл. 11.

2. Сделайте выводы и заключения по табл. 11.

Таблица 11. Описание водных экосистем

Название биома	Физико-химические свойства	Характеристика	
		Растительный мир	Животный мир
1. Озеро	Температура Содержание кислорода в воде Соленость и т. д.	Рдест и т. д.	Карась и т. д.
2. Пруд			
3. Река			
...			

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Усов М. М. Экология рыб: учебно-методическое пособие / М. М. Усов, О. В. Усова. – Горки : БГСХА, 2023. – 138 с.
2. Усов, М. М. Экология и токсикология рыб. Демэкология и синэкология: метод. указания к лабораторным занятиям / М. М. Усов, О. В. Усова, А. Н. Иванистов. – Горки: БГСХА, 2016. – 24 с.
3. Купинский, С. Б. Биологические основы рыбоводства. Лабораторный практикум: учеб.-метод. пособие / С. Б. Купинский, М. М. Усов, Р. М. Цыганков. – Горки: БГСХА, 2018. – 154 с.
4. Усов, М. М. Ихтиология: учеб.-метод. пособие / М. М. Усов, О. В. Усова. – Горки: БГСХА, 2020. – 168 с.
5. Речные экосистемы [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Речные\\_экосистемы](https://ru.wikipedia.org/wiki/Речные_экосистемы). – Дата доступа: 09.02.2022.
6. Трофическая структура биоценоза [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://infourok.ru/prezentaciya-k-uroku-biologii-troficheskaya-struktura-biogeocenoza-klass-1724719.html>. – Дата доступа: 30.01.2022.
7. Озерные экосистемы [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Озерные\\_экосистемы](https://ru.wikipedia.org/wiki/Озерные_экосистемы). – Дата доступа: 09.02.2022.
8. Болото [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Болото#Животные\\_болот\\_умеренного\\_пояса](https://ru.wikipedia.org/wiki/Болото#Животные_болот_умеренного_пояса). – Дата доступа: 09.02.2022.

У ч е б н о е и з д а н и е

**Усов** Михаил Михайлович  
**Усова** Оксана Владимировна

**ЭКОЛОГИЯ РЫБ**

Методические указания по изучению дисциплины

Редактор *Н. Н. Пьянусова*  
Технический редактор *Н. Л. Якубовская*

Подписано в печать . . .2024. Формат 60×84 <sup>1</sup>/<sub>16</sub>. Бумага офсетная.  
Ризография. Гарнитура «Таймс». Усл. печ. л. 8,14. Уч.-изд. л. 7,23.  
Тираж 50 экз. Заказ . . .

УО «Белорусская государственная сельскохозяйственная академия».  
Свидетельство о ГРИИРПИ № 1/52 от 09.10.2013.  
Ул. Мичурина, 13, 213407, г. Горки.

Отпечатано в УО «Белорусская государственная сельскохозяйственная академия».  
Ул. Мичурина, 5, 213407, г. Горки.

